



**LISBOA
SCHOOL OF
ECONOMICS &
MANAGEMENT**

MESTRADO EM
GESTÃO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

TRABALHO FINAL DE MESTRADO
TRABALHO DE PROJETO

IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE UMA *PRIVATE*
CLOUD EM *OPENSOURCE*

PEDRO MIGUEL ROXO PEREIRA

ORIENTAÇÃO:

PROF. JESUALDO CERQUEIRA FERNANDES

SETEMBRO – 2014

Agradecimentos

Apesar de um trabalho final de Mestrado ser elaborado de forma individual, não quero deixar de agradecer o apoio e ajuda de algumas pessoas que contribuíram para a finalização desta etapa:

Ao Professor Jesualdo Fernandes, um especial agradecimento pela sua orientação, ajuda e sugestões que se revelaram um precioso contributo que me permitiu concluir este trabalho.

Aos meus pais, à Vera e à Susana, pelo encorajamento contínuo e apoio que me deram ao longo do tempo.

A todos os meus colegas e responsáveis hierárquicos, em especial ao Isaque, Miguel, Carina e Dra. Teresa Evaristo, pela compreensão, incentivo e disponibilização de recursos técnicos que me permitiram concluir este trabalho.

Um especial abraço ao Ruben, Nuno, Ylenia e colegas do ISEG pela sua amizade, opiniões e espírito de entreajuda ao longo destes anos.

Resumo

Com as crescentes necessidades e exigências em fornecer melhores ferramentas e sistemas de informação a todos os intervenientes do setor da educação, é considerado fundamental a promoção e reformulação dos serviços tecnológicos atuais, de forma a acrescentar mais autonomia, celeridade e eficiência. Considerando o ambiente atual como economicamente restritivo, o *cloud computing* poderá constituir uma interessante solução para colmatar os objetivos enunciados.

O presente projeto consistiu no desenvolvimento de uma nuvem privada num organismo central da administração pública portuguesa, com o objetivo de desenvolver um serviço de *Infrastructure-as-a-Service (IaaS)* para o ensino e organismos da administração central da educação. Pretendeu-se construir uma solução que permitisse consolidar recursos tecnológicos, simplificar arquiteturas de rede, reduzir custos de operação e acelerar a disponibilização de recursos de computação.

Como objetivo secundário, foi aplicada uma plataforma que permitisse disponibilizar um serviço de *Platform-as-a-Service (PaaS)* para responder às necessidades dos clientes e avaliar a capacidade de integração tecnológica com a plataforma *IaaS*.

Foi considerado vital neste projeto que a implementação recorresse a tecnologias *opensource* que permitissem obter retorno ao nível da interoperabilidade e capacidade adicional de mudar de fornecedor tecnológico (*vendor-lock-in*).

No final, foi possível disponibilizar uma nova solução centralizada e unificada de recursos de computação e plataformas, que permite entregar melhores serviços e, ao mesmo tempo, reutilizar a infraestrutura tecnológica existente na organização e restringir necessidades de investimento adicional.

Palavras-chave: *Cloud Computing, IaaS, PaaS, OpenStack*

Abstract

With the growing needs and demands to provide better tools and information systems to all stakeholders in the sector of education, the promotion and reform of the current technological services is considered fundamental in order to increase autonomy, speed and efficiency. Taking into consideration the current economically restrictive environment, cloud computing may be an interesting solution to address the stated goals. This project consisted in the development of a private cloud in a central government agency, with the aim of developing a service of *Infrastructure-as-a-Service (IaaS)* for schools and agencies of the central administration of education. The goal was to provide a solution to consolidate technological resources, simplify network architectures, decrease operating costs and increase the availability of computing resources.

As a secondary objective, a platform that allowed a service of *Platform-as-a-Service (PaaS)* to respond to customer needs and assess the ability of technology integration with *IaaS* platform that was applied.

It was considered vital for this project that the implementation used *opensource* technologies that allowed returns of interoperability and additional capacity for technological vendor change (*vendor-lock-in*).

In the end, it was possible to make a new centralized and unified solution of computing resources and platforms that enables the delivery of better services and, at the same time, reuses the existing technological infrastructure in the organization and limits additional investment needs.

Keywords: *Cloud Computing, IaaS, PaaS, OpenStack*

Lista de abreviaturas

API - *Application Programming Interface*

CPU - *Central Processing Unit*

DDoS - *Distributed Denial of Service*

DHCP - *Dynamic Host Configuration Protocol*

EUA - Estados Unidos da América

IaaS - *Infrastructure as a Service*

IDS - *Intrusion detection system*

IP - *Internet Protocol*

LAN - *Local Area Network*

LDAP - *Lightweight Directory Access Protocol*

MEC - Ministério da Educação e Ciência

NASA - *National Aeronautics and Space Administration*

OPEX - *Operational Expenditure*

PaaS - *Platform as a Service*

QoS - *Quality of Service*

RAE - Rede Alargada da Educação

RAM - *Random-access memory*

SAN - *Storage Area Network*

SDN - *Software Defined Network*

SI/TIC - Sistemas de Informação e Tecnologias de Informação e Comunicação

SLA - *Service Level Agreement*

SPICE - *Simple Protocol for Independent Computing Environments*

SQL - *Structured Query Language*

TFM - Trabalho Final de Mestrado

VCL - *Virtual Computing Lab*

VLAN - *Virtual Local Area Network*

VNC - *Virtual Network Computing*

VPN - *Virtual Private Network*

WAN - *Wide Area Network*

Glossário de Termos

Amazon Web Services - Empresa de serviços *cloud* (www.aws.amazon.com).

ActiveDirectory-as-a-Service - Fornecer como serviço a funcionalidade de armazenamento, identificação e autenticação de utilizadores, presente no sistema operativo do *Microsoft Server*.

As-a-service - Consiste em transformar um produto ou sistema e fornecê-lo como serviço a um cliente. Num modelo de serviço *cloud*, poderá ser infraestrutura, *software*, plataformas, etc.

Autoscaling - Capacidade em aumentar ou diminuir recursos tecnológicos de forma automática e de acordo com condições definidas programaticamente.

API - Possibilidade de controlar *software* através de um interface de programação aplicacional.

AWS CloudFormation - Modelos de exemplo (*templates*) que aprovisionam recursos em serviços *IaaS* da *Amazon Web Services*
(<http://aws.amazon.com/pt/cloudformation/>).

AWS CloudFormation API - API do serviço *AWS CloudFormation* desenvolvido pela empresa *Amazon Web Services*
(<http://docs.aws.amazon.com/AWSCloudFormation/latest/APIReference/Welcome.html?r=7078>).

Baremetal - Computador ou servidor que não possui sistema operativo e consiste apenas em *hardware*.

Canonical - Empresa de serviços e *software Linux* (www.ubuntu.com).

CAPEX - No termo inglês, significa *capital expenditure* e designa o montante de dinheiro despendido num processo de aquisição.

Chef - Ferramenta de automação de servidores e serviços

(http://docs.getchef.com/chef_overview.html).

Cisco - Empresa de equipamentos de *hardware*, *software* e serviços com especialização em redes IP (www.cisco.com).

Citrix - Empresa de produtos de virtualização e *cloud* (www.citrix.com).

CentOS - Distribuição *Linux* baseada em *Red Hat* (www.centos.org).

Cloudify - *Software PaaS* gerido pela empresa *GigaSpaces*
(<http://www.gigaspaces.com/cloudify-cloud-orchestration/overview>).

Cloud Foundry - *Software PaaS* liderada pela empresa *Pivotal CF*
(www.cloudfoundry.org).

CloudStack - *Software* para a criação de *clouds IaaS* em *opensource*
(www.cloudstack.apache.org).

Cluster - Agregação de servidores físicos que juntos formam uma unidade robusta e com um sistema operativo distribuído.

Database-as-a-Service - Fornecer um serviço de plataformas de base de dados.

Data-lock-in - Incapacidade de transferência de dados para outros sistemas ou serviços.
É um acontecimento regular na migração de dados contidos em sistemas proprietários, que não possuem compatibilidade com sistemas de outros fabricantes.

Densidade de máquinas virtuais - Número máximo de máquinas virtuais que um servidor físico poderá suportar, limitado apenas pelos seus *CPUs*, memória e armazenamento presente.

DevStack - Comunidade orientada à elaboração de ferramentas de instalação *Openstack*
(www.devstack.org).

DDoS – Ataque de negação de serviço, com o objetivo de colocar sistemas informáticos indisponíveis devido a uma sobrecarga do sistema. Neste ataque, recorre-se à sincronização de pedidos, por parte de milhares de clientes e dirigido a sistemas, com a finalidade de esgotar os recursos do serviço e, por sua vez, criar indisponibilidade de serviço.

Docker - *Software opensource* para construir, entregar e executar aplicações distribuídas (www.docker.com).

Fabric - *Software* desenvolvido em *Python* para sistemas automatizados através do protocolo *SSH* (www.fabfile.org).

Firewall - Dispositivo responsável por implementar regras de segurança numa rede informática.

Flavours - *Template* de máquinas virtuais com um número pré-definido de recursos ao nível de *RAM*, armazenamento e *CPU* (<http://docs.openstack.org/openstack-ops/content/flavors.html>).

Ganglia - *Software* de monitorização para sistemas de computação distribuídos (www.ganglia.sourceforge.net).

GRE ou **GRE Tunneling** - Encapsulamento de pacotes da camada dois do modelo OSI, que permitem a segmentação de tráfego (https://openstack.redhat.com/Using_GRE_tenant_networks).

Groovy - Linguagem de programação orientada a objetos desenvolvido para a plataforma *Java* (www.groovy.codehaus.org).

HP - Empresa de *hardware* e *software* para sistemas de computação (www.hp.com).

Hyper-V - *Software* de virtualização da empresa *Microsoft*.

Hypervisor – *Software* de virtualização que permite virtualizar diferentes sistemas operativos no mesmo servidor.

IDS-as-a-Service - Capacidade de gerar um serviço de deteção contra intrusão a sistemas informáticos.

Java - Linguagem de programação orientada a objetos.

JavaScript - Linguagem de programação orientada para navegadores *web*.

Juniper Contrail - *Software* de virtualização de redes da empresa *Juniper* (www.juniper.net/us/en/products-services/sdn/contrail/).

KVM - *Software* de virtualização *opensource* (www.linux-kvm.org).

LB-as-a-Service - Capacidade de criar serviços de distribuição de carga e resposta uniforme em sistemas informáticos. Usualmente utilizado para acesso a páginas de internet com um elevado número de pedidos por parte dos utilizadores.

Logs - Registo de alterações e eventos relevantes num sistema informático.

Microsoft - Empresa de *software* e sistemas operativos (www.microsoft.com).

Mirantis - Empresa de serviços *cloud* baseados na tecnologia *Openstack* (<https://www.mirantis.com/>).

Multi-tenancy - Arquitetura de *software* que permite servir múltiplos clientes ou organizações, formando uma partição virtual dos dados e configuração de cada cliente.

Nagios - *Software* de monitorização e performance (www.nagios.org).

Networking-as-a-Service - Fornecer a clientes um serviço que permita obter a gestão autónoma de redes e segurança.

Novell - Empresa de *software Linux* (www.novell.com).

On-demand - Aprovisionar de forma autónoma no sentido de colmatar necessidades pontuais de serviço para com clientes.

Openstack ReST API - Interface de controlo aplicacional do *Openstack*.

OpenvSwitch - *Switch* virtual em *opensource* e implementado em vários produtos e fabricantes de virtualização (<http://openvswitch.org/>).

Opensource - Refere-se a *software* que possui as seguintes características: distribuição livre, código fonte disponível, permitir derivações do *software*, licença neutra em relação à tecnologia e outros programas.

OPEX - Despesas operacionais em manter um produto, serviço ou negócio.

Oracle - Empresa de *software* originalmente conhecida pelo seu motor de base de dados robusto e de alta escalabilidade (www.oracle.com).

Pay-per-use - É realizado um pagamento por utilização de um serviço e não por um produto. As características desse serviço podem ser aumentadas ou diminuídas perante as necessidades do cliente.

Puppet - Ferramenta de automação de serviços e servidores (<http://puppetlabs.com/puppet/what-is-puppet>).

Python - Linguagem de programação *opensource* de alto nível e orientada a objetos.

Rackspace - Empresa de serviços *cloud* (www.rackspace.com).

Red Hat - Empresa de *software Linux* (www.redhat.com).

RDO - *Software* de instalação e configuração do *Openstack*, inicialmente desenvolvido pela empresa *Red Hat* e mantido pela comunidade de desenvolvimento (https://openstack.redhat.com/Main_Page).

Router - Equipamento que interliga várias redes IP numa rede informática.

Routing - Consiste na função de interligação de várias redes informáticas. Os *routers* são os equipamentos responsáveis pelo redireccionamento de pacotes entre várias redes informáticas.

sFlow - Protocolo de monitorização de redes *IP* (www.sflow.org).

Snapshots - Termo utilizado na área de virtualização, que permite salvaguardar o estado de uma máquina virtual num determinado ponto no tempo.

Smartphones - É um telefone com características avançadas, possuindo um sistema operativo que permite a instalação de aplicações.

Software-defined-network - É um modelo de gestão de redes informáticas que se abstrai de equipamentos físicos e funcionam de forma virtual com o benefício de uma gestão simplificada.

SSH - Protocolo de comunicação que permite comunicações encriptadas.

Stakeholders - Termo utilizado na área de gestão de projetos e arquitetura de *software* que identifica os intervenientes num processo ou projeto.

Switch - Consiste num equipamento que interliga computadores dentro de uma rede informática. Possui a capacidade de criar várias redes mas não possui a capacidade de as interligar.

Tablet - É um dispositivo pessoal que permite o acesso à internet, organização pessoal, leitura de livros, fotos, vídeos, etc. É também considerado um *PC* de tamanho reduzido.

Tenant – Consiste num projeto ou instância de um determinado cliente em que existe uma divisão virtual dos recursos adjudicados ao cliente. Cada *tenant* encontra-se isolado de outros para que não exista conflito entre recursos.

Template - Um *template* consiste num ficheiro ou código que serve como ponto de partida.

Thin-client - Computador cliente utilizado em arquiteturas servidor-cliente. Estes equipamentos são caracterizados por terem apenas o indispensável para a ligação aos servidores, retirando componentes desnecessários e obtendo menor custo de aquisição.

Ubuntu - Distribuição *Linux* sob o desenvolvimento da empresa *Canonical* (www.ubuntu.com).

Vendor-lock-in - Limitação evidenciada quando uma organização seleciona um determinado fornecedor/fabricante, traduzindo-se na impossibilidade de mudança.

VLAN - Método de segmentar virtualmente redes informáticas, podendo só as interligar através de um *router*.

VMware - Empresa de sistemas de virtualização e produtos *cloud* (www.vmware.com).

VPN-as-a-Service - Capacidade de gerar um serviço de acesso remoto e encriptado a recursos informáticos de uma empresa ou organização.

Web Browser - *Software* que permite a navegação e consulta de *sites* web através de protocolos standard.

Webservices - Realiza a integração e comunicação entre aplicações diferentes, e assim permitir enviar e receber dados utilizando protocolos standard.

XenServer - Plataforma de virtualização *opensource* (<http://www.xenserver.org/>).

Zabbix - *Software* de monitorização *opensource* (www.zabbix.com).

Lista de figuras

Figura 1 – Método de implementação do projeto.....	14
Figura 2 - Modelo de associação de serviços, âmbito do projeto e <i>stakeholders</i>	17
Figura 3 - Diagrama de interligação do <i>CloudEduc</i> com a RAE.	20
Figura 4 - Arquitetura <i>Openstack</i> implementada.	23
Figura 5 – Esquema de interligações IP físicas em modo <i>Neutron</i> (<i>GRE</i> com <i>OpenvSwitch</i>).	26
Figura 6 - Métricas para o cálculo do "Cloud TCO". Fonte: Li et al (2009), p. 98.....	41
Figura 7 - Modelo de cálculo de custo de utilização de 3 níveis. Fonte: Li et al (2009), p. 96.	42
Figura 8 – Projetos candidatos à aplicação de uma <i>private cloud</i> . Fonte: Scott (2010), p. 10.	43
Figura 9- “ <i>Virtual Computing Lab</i> ” na Carolina do Norte dos EUA. Fonte: Pitt et al (2009).	43
Figura 10 – Relação das camadas de recursos <i>versus</i> modelos de serviço <i>cloud</i> . Fonte: Zhang (2010), p. 9.	44
Figura 11 – Figura demonstrativa da ferramenta <i>Fuel</i>	44
Figura 12 – Gestão de máquinas virtuais via <i>interface web</i> . (<i>CloudEduc</i>).	45
Figura 13 – <i>Interface web</i> do <i>CloudEduc</i> com quotas e utilização de recursos.	45
Figura 14 – <i>APIs</i> de controlo dos vários módulos <i>Openstack</i>	46
Figura 15- <i>Interface web</i> de acesso (<i>Horizon</i>).	46
Figura 16 – Armazenamento redundante no <i>CloudEduc</i>	47
Figura 17 – Exemplo de uma tipologia da rede virtual de um <i>tenant</i>	47
Figura 18 – Redes presentes num <i>tenant</i>	48

Figura 19 – <i>Routers</i> presentes num <i>tenant</i>	48
Figura 20 – Menu de criação de regras de acesso.	49
Figura 21 – <i>Interface web</i> de gestão de regras de segurança do <i>tenant</i>	49
Figura 22 – Gestor de chaves de encriptação do <i>tenant</i>	50
Figura 23 - Informação de <i>flavours</i> existentes num determinado <i>tenant</i>	50
Figura 24 – Informação de imagens disponíveis num determinado <i>tenant</i>	50
Figura 25 – Automação e desenvolvimento de serviços <i>Microsoft</i> e <i>Linux (as-a-service)</i>	51
Figura 26 – Arquitetura <i>Cloudify</i> . Fonte: Gigaspaces (2014).	51
Figura 27 – Processo de duas etapas de instalação do <i>Cloudify</i> . Fonte: Gigaspaces (2014b), p. 3.	52
Figura 28 – Exemplificativo da tipologia de rede no <i>Openstack</i> e criada pelo <i>Cloudify</i>	52
Figura 29 - Exemplificativo da tipologia de rede na nuvem pública <i>HP Public Cloud</i> e criada pelo <i>Cloudify</i>	53
Figura 30 – Monitorização e performance de uma plataforma web com auto escalabilidade.	53
Figura 31 - Monitorização e performance dos servidores que alojam as plataformas. .	54
Figura 32 – <i>Dashboard</i> do <i>Cloudify</i> que demonstra eventos, alertas e performance. ...	54
Figura 33 – <i>Templates</i> de plataformas disponíveis para instalação.	55

Lista de tabelas

Tabela I - Características essenciais no conceito de <i>Cloud Computing</i>	4
Tabela II - Os dez maiores riscos e formas de mitigação na adoção e desenvolvimentos de <i>cloud computing</i>	8
Tabela III - Funções e descrições dos módulos <i>Openstack</i> implementados.....	22
Tabela IV - Perfis de acesso e permissões.....	28
Tabela V - Áreas de monitorização num ambiente <i>cloud</i>	29
Tabela VI – Lista de funcionalidades testadas no projeto <i>Cloudify</i>	31

Índice

1.	Introdução	1
2.	Revisão da literatura	2
2.1	Introdução ao tema	2
2.2	Características de um sistema de <i>cloud computing</i>	4
2.3	Modelos de serviço (“ <i>as-a-service</i> ”)	5
2.4	Modelos de implementação	6
2.5	Motivações para a implementação de uma <i>private cloud</i>	7
2.6	Desafios e interoperabilidade	8
2.7	Exemplos de adoção do <i>Cloud Computing</i> no setor da educação.	10
3.	Projeto “ <i>CloudEduc</i> ” – Nuvem privada para o setor da educação.	13
3.1	Método de implementação do projeto	13
3.2	Objetivos e motivações do projeto	14
3.3	Descrição geral do <i>CloudEduc</i>	18
3.4	Solução de <i>Infrastructure-as-a-Service (OpenStack)</i>	21
3.5	Solução de <i>Platform-as-a-Service (Cloudify)</i>	30
4.	Conclusões	33
4.1	Recomendações e Oportunidades de Melhoria	34
4.2	Limitações e dificuldades sentidas.	35
5.	Bibliografia	37
6.	Anexos	41

1. Introdução

O *Cloud Computing* tem sido um tema fortemente discutido nos últimos anos e analisado internamente pelas empresas e indústria TIC por representar uma alteração profunda ao paradigma de como se gere e desenvolvem serviços tecnológicos (Marston et al, 2011; Zhang et al, 2010). Com a crescente necessidade das organizações serem cada vez mais eficientes na gestão dos seus recursos internos e, assim, poderem produzir uma vantagem competitiva perante os seus concorrentes, o *cloud computing* poderá ser uma opção a considerar no sentido de cumprir os objetivos organizacionais, diminuindo custos de investimento, operação e riscos, baseados num modelo de oferta de serviços “*as-a-service*” (Armbrust et al, 2009).

Estes desafios são apresentados não só a empresas e organizações da área privada mas também ao setor público e governos que, por razões de restrição financeira, se deparam com objetivos de fornecer mais e melhores serviços ao cidadão, a um custo cada vez mais reduzido (Diez & Silva, 2013).

Este trabalho de projeto TFM pretende responder às necessidades de uma instituição da administração pública portuguesa na área da educação: a Direção-Geral de Estatísticas do Ensino e da Ciência, a qual possui responsabilidades na área de gestão SI/TIC dos organismos do Ministério da Educação e Ciência (MEC), escolas do ensino básico e secundário (DGEEC, 2012). Esta organização possui presentemente uma arquitetura computacional com carências de renovação, com uma escalabilidade reduzida e tem de responder a exigências computacionais cada vez mais elevadas, para o bom funcionamento de sistemas de informação transversais a todo o MEC. Por estes motivos, será necessário reformular os seus serviços tecnológicos para um novo paradigma de computação mais eficiente, escalável e que permita um elevado nível de

interoperabilidade. Assim, foi proposto internamente o desenvolvimento de um projeto-piloto de *private cloud* em *opensource* baseado num modelo de serviços de “*Infrastructure-as-a-Service*” e “*Platform-as-a-Service*”.

Este projeto é relevante para a organização e para o setor da educação portuguesa no âmbito do ensino não superior pois permite testar modelos de *cloud computing* que possam servir de forma transversal os organismos centrais e escolas que estão sobre a responsabilidade do MEC e, assim, originar uma melhor eficiência dos recursos existentes. Foi selecionada uma plataforma em *opensource* por permitir uma melhor interoperabilidade com outros sistemas e porque elimina possíveis constrangimentos de “*vendor-lock-in*”, normalmente existentes em modelos de *cloud* proprietários. Por fim, foi avaliada tecnicamente a solução proposta, tendo sido analisadas conclusões, limitações e oportunidades de melhoria do que poderá ser um futuro modelo de *cloud computing* para o setor da educação, doravante designado neste projeto por “*CloudEduc*”.

2. Revisão da literatura

2.1 Introdução ao tema.

O conceito de *cloud computing* tem sido largamente debatido ao longo dos anos e de forma pouco consensual, com o intuito criar uma definição unificada que identifique de forma sucinta as suas características essenciais (Vaquero & Rodero-Merino, 2008). No entanto, uma das definições mais referenciadas na investigação feita ao longo deste projeto e a que mais se identifica com este trabalho de TFM consiste naquela elaborada pelo *National Institute of Standards and Technology* dos EUA:

“Cloud computing is a model for enabling ubiquitous, convenient, on-demand network access to a shared pool of configurable computing resources (e.g., networks, servers, storage, applications, and services) that can be rapidly provisioned and released with minimal management effort or service provider interaction.”

In Mell & Grance (2011), p. 2.

Assim sendo, o *cloud computing* consiste num modelo computacional de processamento paralelo e distribuído por vários computadores em que a agregação de vários equipamentos forma um conjunto de servidores *cloud*. Ao agregar de forma conjunta todas as capacidades de todos os computadores, é possível maximizar a eficiência e as capacidades de um sistema *cloud*, entregando um serviço sobre um modelo “*as-a-service*” aos clientes e utilizando meios como a internet ou circuitos de dados de alto débito. O modelo de negócio é baseado em “*pay-per-use*”, conferindo uma elevada flexibilidade nas necessidades das organizações e clientes individuais (Wang & Xing, 2011).

A adoção do *cloud computing* introduz alterações e desafios tecnológicos significativos, pois será necessário equacionar uma nova arquitetura que possua capacidades de garantir a continuidade e qualidade de serviço a um número elevado de clientes (Pinhal, 2012). As componentes de comunicações, *hardware*, *software*, aplicações e segurança terão que ser minuciosamente analisadas e integradas umas nas outras de modo a que não existam constrangimentos e problemas no serviço (Armbrust et al, 2009).

Foi graças a um desenvolvimento notável das tecnologias de virtualização, de *software multi-tenancy* e *webservices*, que se tornou possível o progresso do que é hoje o *cloud computing* (Marston et al, 2011).

Contudo, o *cloud computing* não é apenas tecnologia, mas sim um modelo económico na forma como se gere SI/TIC, pois visa resolver problemas de negócio e não técnicos

(Lewis, 2013). Através deste meio, as organizações poderão reduzir riscos de investimento em infraestruturas tecnológicas, crescendo de forma sustentável e consoante as suas necessidades, recorrendo a um modelo flexível de serviço (Litoiu et al, 2010).

Na perspetiva de um fornecedor de serviços *cloud*, foi realizado um estudo no centro de investigação da IBM na China (Li et al, 2009) em que é possível obter uma noção dos modelos de amortização, custos e eficiência necessária para a sustentabilidade dos serviços *cloud*. A análise dos custos e amortização (anexo A.I) de todos os componentes envolvidos (servidores, *software*, armazenamento, refrigeração, bens imóveis, etc.) e a obtenção do custo de utilização do serviço (anexo A.II), por forma a imputar os custos aos clientes, são aspetos vitais para um fornecedor de serviços *cloud*.

Os riscos na sua adoção e a tentativa de gerar oportunidades de melhoria para as organizações são fatores a ser equacionados pelas organizações e que serão descritos mais à frente no presente documento.

2.2 Características de um sistema de cloud computing.

Neste novo paradigma de *cloud computing*, podemos destacar algumas das suas características comuns na Tabela I (Mell & Grance, 2011):

Tabela I - Características essenciais no conceito de *Cloud Computing*.

Características	Descrição
Autoaprovisionamento	O cliente possui a capacidade de gerar recursos computacionais de forma autónoma, com o recurso a processos de automação que eliminam a interação humana.
Acesso pela internet e por múltiplos dispositivos	O acesso aos recursos está disponível por acessos comuns, como a internet e protocolos <i>standard</i> e podem ser acedidos através de dispositivos completamente diversos (<i>smartphones</i> , computadores pessoais, <i>tablets</i>).
Agregação de recursos	Consiste na capacidade dos fornecedores de serviço agregarem recursos tecnológicos e fornecê-los a múltiplos clientes (<i>multi-tenancy</i>). Os recursos poderão ser ao nível de armazenamento, processamento, largura de banda e poderão ser físicos ou virtuais, podendo estar distribuídos por múltiplos centros de dados.
Rápida elasticidade	Capacidade de aprovisionar e libertar recursos que, em alguns casos, poderão ser entregues de forma automática (<i>autoscaling</i>). Os recursos disponíveis poderão parecer quase infinitos e sempre disponíveis.

Serviço mensurável	Os recursos cloud são automaticamente controlados e monitorizados ao nível dos seus recursos envolvidos (armazenamento, largura de banda, processamento e utilizadores ativos). Os recursos utilizados sob forma de serviço são sempre reportados de forma transparente entre o fornecedor de serviços e o cliente.
---------------------------	---

Fonte: Mell & Grance (2011), p. 6.

2.3 Modelos de serviço (“as-a-service”)

Neste capítulo serão destacados os vários modelos de serviço de *cloud computing*, mencionando as suas principais características, e de acordo com Mell & Grance (2011):

- i. *Software as a Service (SaaS)* – Capacidade de fornecer *software* como serviço ao consumidor final, através de um *web browser*, *thin-client* ou por um interface do programa específico e recorrendo a meios como a Internet. O cliente não realiza nenhuma gestão do serviço, nem controla qualquer elemento da infraestrutura (redes, armazenamento, processamento, etc.)
- ii. *Platform as a Service (PaaS)* - Consiste no aprovisionamento de plataformas como serviço ao cliente, que poderão ser: bases de dados, portais *web*, *software* de programação, comunicações, etc. Neste caso, o cliente também não controla nenhum tipo de infraestrutura, podendo apenas controlar e gerir elementos tecnológicos das plataformas, como por exemplo: controlo sobre as aplicações e definições das plataformas.
- iii. *Infrastructure as a Service (IaaS)* – Neste caso, é dado ao cliente infraestrutura tecnológica para administrar, como por exemplo: redes, servidores, segurança, armazenamento e todas as componentes que compõem, por norma, um centro de dados. Poderá ter também um acesso limitado a componentes de rede ou de segurança, dependendo do nível de permissões e serviço fornecido.

Zhang (2010) apresenta no seu artigo uma relação entre os vários modelos de serviço identificados anteriormente e as camadas tecnológicas que são utilizadas, bem como exemplos de empresas tecnológicas que os disponibilizam (anexo A.V).

2.4 Modelos de implementação

Com o surgimento do *cloud computing*, e para além das características mencionadas anteriormente, ergueram-se vários modelos de implementação dos quais se destacam os seguintes (Pinhal, 2012; Aruna et al, 2013):

i. *Public Cloud* – Modelo mais tradicional em que o cliente acede à *cloud* pela Internet, de forma a adquirir recursos de computação e serviços. Existem ferramentas de autoaprovisionamento de serviços e de faturação que contabilizam a utilização dos recursos solicitados pelo cliente. Este tipo de implementação poderá ser útil em casos de empresas recém-formadas e que necessitam de reduzir o investimento em infraestruturas tecnológicas.

ii. *Private Cloud* – Neste caso, a gestão e operação são realizadas por uma organização. Essa gestão poderá ser interna ou externa e o alojamento poderá ser efetuado internamente na empresa ou através de um fornecedor ou parceiro tecnológico. Neste modelo continua a ser necessário adquirir recursos tecnológicos (*hardware*, *software* e serviços) por parte da organização, mas, por norma, a sua implementação justifica-se por ter havido no passado um investimento em meios tecnológicos que se quer rentabilizar e reutilizar. Outro motivo traduz-se na necessidade das organizações pretenderem manter o controlo sobre áreas como a segurança, privacidade, interoperabilidade e performance (*SLAs*).

iii. *Community Cloud* – Existe partilha de infraestrutura por várias organizações dentro de uma determinada comunidade, com interesses em comum (segurança, jurisdição, objetivos de negócio em comum, etc.) e pode ser gerida internamente ou externamente, partilhando os custos de operação e gestão da infraestrutura.

iv. *Hybrid Cloud* – Possui como base a implementação de dois ou mais tipos de modelos de *cloud computing* (privada, pública ou comunitária) que permanecem como entidades

separadas. Possuem ligações de dados e *standards* tecnológicos que permitem a portabilidade de dados, aplicações e segurança ao nível da gestão de dados.

2.5 Motivações para a implementação de uma private cloud

As implementações de nuvens privadas nas organizações poderão ser bastante atrativas, com benefícios para os clientes e gestores TIC. De acordo com Mcmillan (2012), e com a colaboração da *Gartner*¹, foi demonstrado nos resultados de um inquérito que o principal *business driver* na implementação de uma *private cloud* não é a redução de custos, mas sim a agilidade e rapidez de entrega de recursos e serviços aos seus clientes. Desta forma, as organizações poderão beneficiar de um aumento de agilidade e performance, podendo estabelecer-se: um aumento de acesso a informação e aplicações, aumento da colaboração e coordenação, escalamento rápido das operações do negócio, desenvolvimento das capacidades de inovação e de implementação rápida de novas tecnologias (EMC, 2010). Outra fonte de motivação está relacionada com a diminuição de custos operacionais que se podem obter introduzindo processos de automatização, padronização e entrega de recursos tecnológicos, solicitados por clientes e de forma célere (EMC, 2010; Santos, 2012).

Num estudo elaborado por Scott (2010), verifica-se que poderá haver projetos mais propícios à aplicação de uma *private cloud*. Os projetos que possuam características de maior grau de normalização (mais *standard* e menos customizadas) e utilizem um elevado volume de dados serão alvos preferenciais à aplicação de um modelo de implementação de nuvem privada (anexo A.III).

¹ *Gartner* – Empresa de consultadoria de SI/TIC. <http://www.gartner.com/technology/about.jsp>

2.6 Desafios e interoperabilidade

Anteriormente foram descritas as características e o conceito de *cloud computing*, porém, a adoção deste tipo de serviços deverá também equacionar os possíveis obstáculos e oportunidades. Será assim vantajoso realizar uma avaliação antecipada dos obstáculos que poderão surgir na adoção de sistemas de *cloud computing* por parte das empresas e organismos públicos. De acordo com Armbrust et al (2009), existem dez obstáculos que deverão ser equacionados e para os quais deverão ser analisadas soluções, no sentido de garantir a continuidade de negócio de uma organização.

Tabela II - Os dez maiores riscos e formas de mitigação na adoção e desenvolvimentos de *cloud computing*.

Riscos	Mitigação
Disponibilidade de serviço	Utilizar múltiplos fornecedores de serviço <i>cloud</i> de forma a assegurar continuidade de serviço; Aproveitar as funcionalidades de elasticidade para defender a infraestrutura contra ataques <i>DDoS</i> .
Data-lock-in	Utilizar “ <i>APIs standard</i> ” e tornar o <i>software</i> compatível na utilização de nuvens híbridas.
Confidencialidade e auditabilidade dos dados	Implementar mecanismos de encriptação, <i>VLANs</i> e <i>firewall</i> ; Escolher o armazenamento em áreas geográficas em que as leis nacionais se apliquem.
Estrangulamento de transferência de dados	Em casos de migração de um elevado volume de dados, aconselha-se o envio dos mesmos por estafeta; Diminuir custos com transferências de dados por <i>WAN</i> e em compensação aumentar as transferências <i>LAN</i> .
Imprevisibilidade no desempenho	Melhorar e atualizar <i>drivers</i> de suporte a máquinas virtuais; Utilizar memória <i>flash</i> ; Utilizar aprovisionamento massivo de <i>VMs</i> em aplicações desenhadas para sistemas “ <i>high performance computing</i> ”.

Falta de armazenamento escalável	Criar ou desenvolver armazenamento escalável.
Falha em sistemas distribuídos de larga escala.	Desenvolver ferramentas de diagnóstico que avaliem sistemas distribuídos de <i>VMs</i> .
Limitações em escalar recursos de forma rápida	Desenvolver escalamento dinâmico e de forma automática, aumentando ou diminuindo recursos alocados (memória, <i>CPU</i> , novas instâncias) e para que os <i>SLAs</i> sejam sempre atingidos; Recorrer ao uso de <i>snapshots</i> para que a implementação de serviços seja mais célere.
Problemas na reputação de clientes e serviços de <i>cloud</i>.	Fornecer ou garantir serviços com reputação que não limitem ou bloqueiem serviços, como por exemplo, o correio eletrónico.
Licenciamento de <i>software</i>	Utilização de licenças <i>pay-per-use</i> . Adquirir pacotes de utilização de fornecedores <i>cloud</i> que garantam descontos de utilização dos serviços <i>cloud</i> .

Fonte: Armbrust et al (2009), p. 3.

Num estudo sobre interoperabilidade elaborado por Lewis (2013), um dos mais importantes riscos na implementação de *cloud computing* é a questão de *vendor lock-in* e a limitação de mudar de fornecedor *cloud*. Os serviços de *IaaS* que se baseiem em protocolos *standard*, recorrendo a APIs abertos e que utilizem *software* de gestão de recursos virtuais que se integrem com fabricantes de virtualização diferentes, poderão, assim, aumentar a interoperabilidade entre diferentes fornecedores e aumentar a interoperabilidade dos sistemas (Dillon et al, 2010).

2.7 Exemplos de adoção do Cloud Computing no setor da educação

2.7.1 Necessidades do setor de educação

O setor tecnológico possui um ritmo muito acelerado no desenvolvimento de novas soluções e arquiteturas e representa uma exigência financeira muito elevada para as organizações. Com o objetivo de estar à altura das necessidades do ensino, de forma a cativar estudantes, será necessário que a educação se mantenha a par das novidades tecnológicas, existindo uma pressão para manter atualizados os sistemas ao nível de *hardware* e *software*. A adoção do *cloud computing* poderá representar para o setor do ensino, não só uma oportunidade de se manter atualizado com custos mais acessíveis, mas também de permitir que os recursos humanos se foquem mais na área de negócio e menos em aspetos de gestão SI/TIC (Sultan, 2010).

Com o crescimento e as atenções viradas para o ensino à distância (*e-learning*), universidades e estabelecimentos de ensino não-superior deverão possuir meios para alcançar potenciais alunos de áreas geográficas distantes e, por esta via, aumentar o número de estudantes, receitas e o nível de literacia destes, especialmente em países em desenvolvimento (Chandra & Borah Malaya, 2012).

Como base de referência deste projeto, foi feita uma investigação de projetos de *cloud computing* no setor da educação. Na investigação realizada, constatou-se que, no setor da educação, e principalmente em universidades de vários países, foram efetuadas análises e desenvolvimentos em sistemas de *cloud computing*. Nos exemplos encontrados, os estabelecimentos de ensino, perante os meios financeiros e técnicos que possuíam, adaptaram as soluções de *cloud computing* às suas necessidades organizacionais, como irá ser demonstrado em seguida.

2.7.2 *Elaboração da rede académica “VCL” na Carolina do Norte (EUA)*

Com início no ano de 2002 e colocado em produção no ano de 2004, iniciou-se um dos exemplos mais diferenciadores e marcantes na área de desenvolvimento de serviços *cloud* na educação (Pitt et al, 2009). O “*Virtual Computing Lab*” (VCL), no estado da Carolina do Norte nos E.U.A, iniciado por entidades académicas e governamentais em parceria com a IBM, formou um centro de computação que fornecia aos estabelecimentos de ensino superior, básico e secundário, serviços ao nível de *software*, *hardware*, computadores virtuais e materiais educacionais. O projeto foi segmentado em dois subprojectos:

- i. *High Performance Computing*²: Orientado ao suporte de investigação e desenvolvimento científico no meio universitário utilizando um complexo *cluster* de servidores. Fornece também computadores virtuais aos alunos do ensino não-superior.
- ii. *Virtual Computing Lab*³: orientado ao suporte educacional, investigação e de uso geral de serviços pelos alunos e funcionários escolares.

No ano de 2010, este projeto superou mais de 2.000 servidores físicos e albergava entre 4.000 a 5.000 servidores virtuais com cerca de 800 imagens de *software* (Pitt et al, 2009). Os resultados alcançados permitiram centralizar a função informática, reduzir custos de operação e gestão de soluções SI/TIC, alcançar os estabelecimentos de ensino (incluindo os mais distantes e representados no anexo A.IV), reduzir custos com recursos humanos e diminuir custos com licenciamento (Chandra & Borah Malaya, 2012).

² *High Performance Computing* - <http://ncsu.edu/hpc/>

³ *Virtual Computing Lab* - <https://vcl.ncsu.edu/>

2.7.3 Necessidades de computação no setor da educação na Índia em 2020

Na Índia, e face a uma realidade de 659 universidades distribuídas pelo país (UGC, 2014), as necessidades da educação são enormes. Estima-se que, em 2020, a Índia terá 45 milhões de pessoas entre os 18 e os 20 anos e terá que formar cerca de 20 milhões de professores (Rekhy, 2011). Em virtude destes dados, o *cloud computing* na Índia possui elevada relevância e importância, no sentido de utilizar recursos comuns e disponibilizá-los de forma barata e conveniente. Empresas e universidades uniram-se e estabeleceram currículos especiais para formar cerca de 100.000 técnicos com competências em *cloud computing* e estão a desenvolver uma rede de fibra ótica, distribuída pelo país, de forma a interligar todos estes estabelecimentos de ensino (Chandra & Borah Malaya, 2012).

2.7.4 Private Cloud no setor de educação na Alemanha e Japão

Na universidade de *Hochschule Furtwangen* (HFU) na Alemanha, foi estruturado o desenvolvimento de uma plataforma, com a designação de *CloudIA*, que integrasse serviços de *IaaS*, *PaaS* e *SaaS* num modelo de *private cloud* utilizando recursos de *hardware* existentes. Alunos, professores e funcionários da universidade têm acesso a aplicações *e-Learning* e de colaboração para efeitos de ensino (Doelitzscher et al, 2011). Outro exemplo, foi a construção de uma *private cloud* educacional com serviços *Paas* e *IaaS* na universidade de Tóquio no Japão, baseada na solução *Ubuntu Enterprise Cloud* que consiste numa distribuição *opensource* e de elevada fiabilidade (Kibe et al, 2013). Estes são projetos relevantes e motivadores para este projeto de TFM, dado que foram adotados modelos de *cloud computing* para fornecer um melhor serviço a todos intervenientes da educação e, para isso, foram utilizadas, em alguns casos, soluções em *opensource*.

3. Projeto “*CloudEduc*” – Nuvem privada para o setor da educação

3.1 *Método de implementação do projeto*

Para este projeto não foi tomada uma posição formal sobre o método de implementação a seguir, no entanto, recorreu-se a uma metodologia utilizando as seguintes etapas: análise, planeamento, implementação e avaliação.

Na fase de **análise**, foi realizada uma investigação bibliográfica sobre implementações de projetos em nuvens privadas, elaboradas por empresas e organizações públicas (Aruna et al, 2013; Hussein & Arafat, 2013; Sefraoui & Aissaoui, 2012; Bist et al, 2012). Com esta pesquisa, foi possível identificar vantagens, limitações e quais as melhores tecnologias *cloud* em *opensource*.

O **planeamento** consistiu, inicialmente, na escolha do *software* e das tecnologias que compõe a nuvem privada (*CloudEduc*), consoante as características que oferecessem as melhores vantagens e garantias de serviço a nível empresarial. Após esta etapa, foi elaborada uma arquitetura o mais robusta e protegida contra falhas possível, limitada, apenas, pelos recursos de *hardware* disponíveis.

Na fase de **implementação** foram desenvolvidos os módulos de *IaaS* e *PaaS* empregando a arquitetura definida na fase anterior. Realizou-se, também, a instalação e integração de várias componentes essenciais: computação, armazenamento, rede, etc.

Por fim, na **avaliação**, foram efetuadas validações à tecnologia implementada no sentido de testar a viabilidade e execução dos componentes instalados. Por diversas vezes foi necessário voltar à etapa de planeamento de modo a melhorar a arquitetura de rede ou tecnologias implementadas. No desfecho desta fase, foram retiradas conclusões,

limitações e oportunidades de melhoria. Poderá ser visualizada uma representação gráfica do método utilizado na figura seguinte.

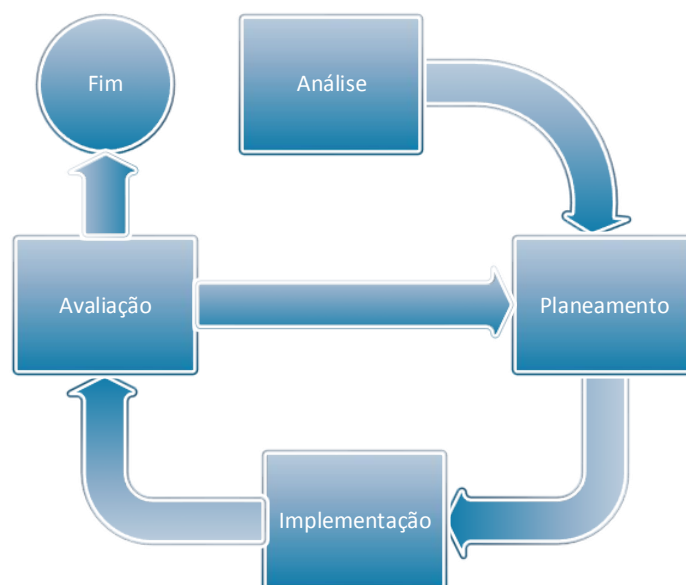


Figura 1 – Método de implementação do projeto. Fonte: Própria.

3.2 *Objetivos e motivações do projeto*

O projeto-piloto *CloudEduc* surgiu numa organização do setor da educação portuguesa, DGEEC, que tem responsabilidades ao nível da gestão SI/TIC e da gestão da rede escolar do ensino-não superior. O *CloudEduc* pretendeu implementar, pela primeira vez nesta organização, uma nuvem privada, com o intuito de avaliar a viabilidade técnica de um projeto desta natureza, e desenvolvimento de competências e sensibilidade interna da organização para área de *cloud computing*. Desde o início deste projeto, foi considerado que poderiam ser necessárias várias iterações melhoradas do mesmo, sendo que aquelas teriam um âmbito exploratório das tecnologias e do conceito de *cloud* para o setor da educação.

No início, foi realizada uma avaliação do estado atual da organização (modelo “*as-is*”), do qual se destacam os seguintes pontos:

- i. Infraestrutura tecnológica a necessitar de renovação (servidores, comunicações, armazenamento e segurança).
- ii. Necessidade em renovar sistemas de informação, com maiores requisitos de computação e armazenamento.
- iii. Fortes limitações na escalabilidade tecnológica dos dois centros de dados da DGEEC.
- iv. Dispersão geográfica pelo território nacional de equipamentos tecnológicos, tendo sido considerado, através de avaliação interna, que existem equipamentos repetidos em todos os organismos, como por exemplo: *firewalls*, servidores autenticação, de ficheiros, *websites* institucionais, etc.
- v. Tecnologia sob a gestão operacional de múltiplas equipas técnicas.
- vi. Contratos de suporte e manutenção dispersos em múltiplos organismos.
- vii. Elevada heterogeneidade de equipamentos e sistemas de informação.
- viii. Baixa adesão a sistemas de virtualização, traduzindo-se numa elevada dependência a equipamentos físicos e fabricantes de *hardware*, com fraca rentabilização e eficácia dos equipamentos atuais.
- ix. A automação de serviços, servidores e plataformas são quase inexistentes. Todos os processos de instalação e entrega de serviço são dependentes de intervenção humana.
- x. Elevada complexidade na gestão da rede IP (WAN e LAN) devido a um elevado número de redes e equipamentos.
- xi. Custos de operação elevados perante um avultado número de equipamentos e dispersão de recursos (humanos e técnicos).

Após esta apreciação inicial, foram consideradas as alterações desejadas ou impactos que este projeto poderia trazer para a organização (modelo “*to-be*”), a saber:

- i. Entrega de tecnologia como serviço e com a aptidão de imputar custos aos clientes (organismos e escolas).
- ii. Fomentar a centralização de serviços, diminuindo a necessidade de equipamentos tecnológicos permitindo, assim, uma redução de custos de aquisição e manutenção, podendo originar poupanças significativas a médio/longo prazo.
- iii. Obter gestão centralizada e unificada de áreas como: segurança, computação, armazenamento, etc.
- iv. Capacidade de unificar os centros de dados, em um ou mais centros de dados virtuais.
- v. Consolidação de servidores, equipamentos de rede, *firewalls*, armazenamento e serviços SI/TIC numa única infraestrutura, de alta escalabilidade e redundante.
- vi. Capacidade para gerar serviços que permitam disponibilizar servidores virtuais, redes IP e segurança, mantendo-os isolados de outros clientes (*multi-tenancy*).
- vii. Automatizar os processos de instalação e entrega de serviço, originando a redução de intervenção humana e aumentando a eficácia.
- viii. Aumentar a autonomia dos clientes, fornecendo a capacidade de gerar serviços e infraestrutura tecnológica virtual mediante as necessidades de negócio.
- ix. Acesso e gestão simplificada dos recursos dos clientes através de um portal *web* com capacidades de encriptação nas comunicações.
- x. Conversão de uma rede IP física, constituída por *switches*, *routers* e cablagem estruturada, para um paradigma de virtualização de redes ou “*software-defined-network*” (*SDN*).

- xi. Elevar o nível de interoperabilidade recorrendo a *frameworks* e plataformas *opensource* que funcionem com normas e protocolos abertos, conforme estipulado por orientação da Agência para a Modernização Administrativa que detém a coordenação da área SI/TIC na administração pública portuguesa (AMA, 2012).
- xii. Possibilidade de integração, no futuro, da nuvem privada (*CloudEduc*) com uma nuvem pública, transformando-a assim num modelo híbrido, com vantagens em obter recursos de computação adicionais em períodos de utilização elevada.
Exemplo: períodos de inscrições e matrículas de alunos.

Para além do modelo “*as-is*” e “*to-be*” descritos anteriormente, foi construído um modelo (figura 2) que demonstra a relação dos benefícios deste projeto em relação aos modelos de serviço a atingir, e que identifica os *stakeholders* do projeto.

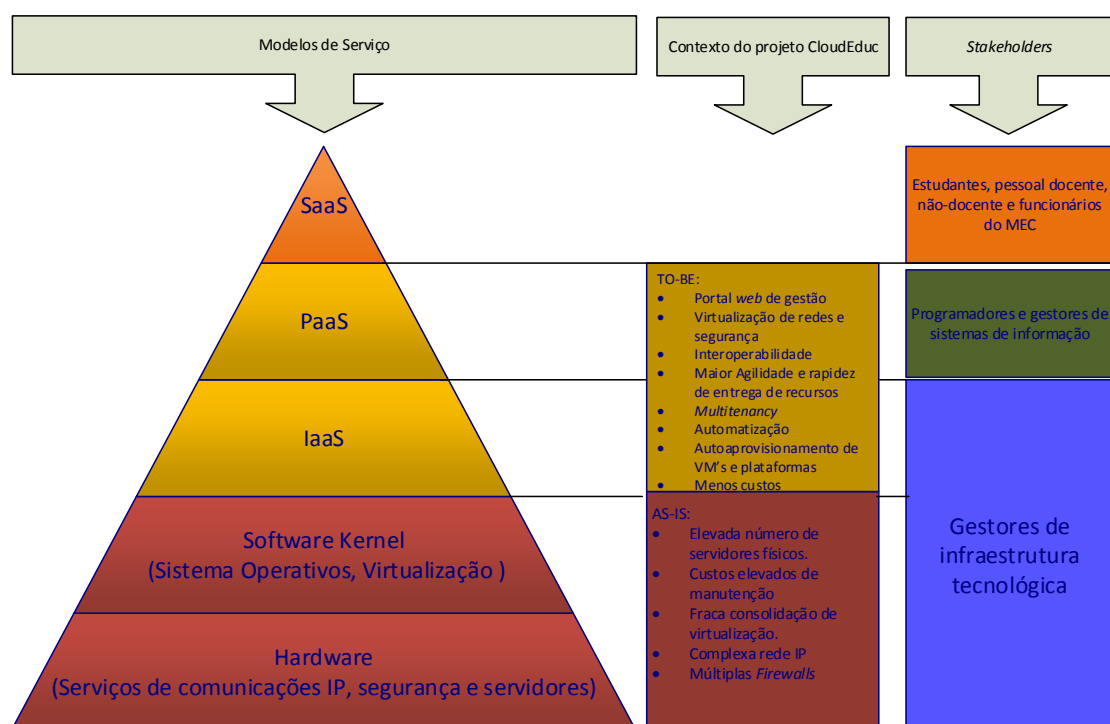


Figura 2 - Modelo de associação de serviços, âmbito do projeto e *stakeholders*. Fonte: Própria.

Na escolha do modelo de implementação *cloud* para este projeto, optou-se pelo modelo de *private cloud* em detrimento de outros. A preferência deveu-se aos seguintes fatores: controlo ao nível de segurança, auditabilidade sobre os sistemas, reaproveitamento de *hardware* existente, presença de recursos humanos SI/TIC qualificados e, por fim, pela dimensão tecnológica suficientemente elevada que permita economias financeiras em comparação a uma nuvem pública.

3.3 Descrição geral do CloudEduc

Este projeto dividiu-se em duas fases distintas, ou subprojectos: inicialmente, elaboração dos serviços tecnológicos de infraestrutura (*IaaS*) e, posteriormente, de plataformas (*PaaS*). Contudo, o maior foco deste projeto foi dado à área de infraestrutura em detrimento à de plataformas, dado que havia uma carência urgente na reorganização na área de infraestruturas tecnológicas da organização em análise (DGEEC). Essa carência deve-se a certos fatores descritos anteriormente no modelo “*as-is*”, como sejam, uma forte limitação ao nível de escalabilidade, reformulação da rede *IP* e necessidade de renovar *hardware* e sistemas de informação.

Em relação à escolha tecnológica, e na fase de análise deste projeto, foi necessário investigar soluções em *opensource* de *IaaS* e *PaaS*. Ambas deveriam possuir uma excelente integração tecnológica com o mínimo de customização, presença de suporte empresarial, conter funcionalidades que fossem uma mais-valia para a área e usar normas e protocolos abertos. Soluções de *IaaS* como *DeltaCloud*, *Nimbus*, *Eucalyptus*, *Openstack*, *OpenNebula* e *CloudStack* são alguns exemplos de soluções em *opensource* que foram consideradas. Comparativamente, todas elas apresentam diferenças ao nível técnico, de existência ou não de suporte empresarial (*SLAs*), e têm uma dimensão e

atividade relevante sobre as comunidades de desenvolvimento (Sefraoui & Aissaoui, 2012; Bist et al, 2012).

Contudo, foi escolhida a solução de *Openstack* para o modelo de serviço *IaaS* pela sua integração com elevado número de *hypervisors* de virtualização, porque possui uma comunidade de desenvolvimento muito ativa, e pela existência de suporte empresarial fornecido por vários fabricantes de renome, tendo sido já aplicado em implementações de nuvens públicas, privadas e híbridas.

Na solução de *PaaS* foi escolhida a plataforma *Cloudify* por se basear em linguagens de programação *opensource*, com a possibilidade de integração em múltiplos serviços de nuvem e de forma muito aprofundada no *Openstack*. Apresenta também funcionalidades avançadas ao nível de automatização contra falhas, com escalamento automático e suporte empresarial. O artigo de Ferry et al (2013) possui comparativos de *software PaaS*, referindo as suas características e protocolos utilizados, tendo sido com base na análise efetuada deste documento que se optou pelo *Cloudify*.

Para efeitos de implementação do *CloudEduc*, foi utilizada uma rede *IP* de cobertura nacional que abrange, primariamente, a rede das escolas, mas também organismos centrais e regionais, denominada rede alargada da educação (RAE). Esta rede encontra-se em produção há vários anos e consiste num excelente veículo de conectividade *IP* entre organismos e escolas. Por este meio, foi possível a interligação da *CloudEduc* sem custos acrescidos em ligações de dados. A figura 3 representa um diagrama simplificado da interligação da nuvem privada deste projeto com a rede de interligação da RAE.

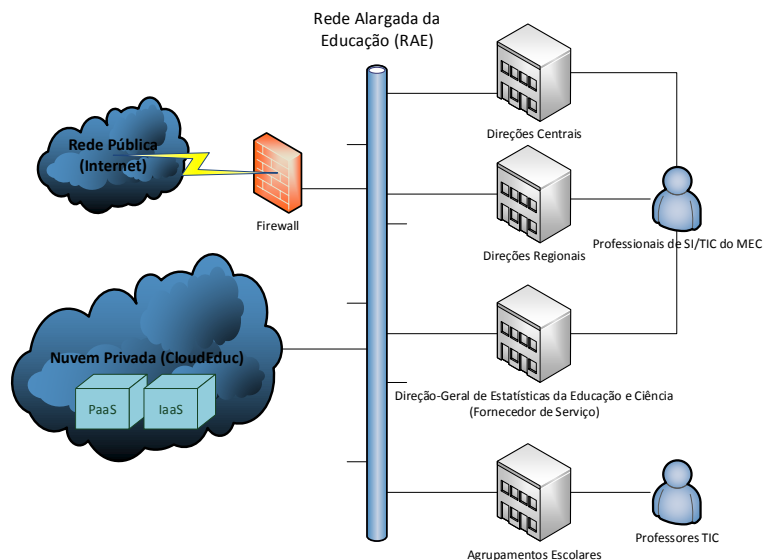


Figura 3 - Diagrama de interligação do *CloudEduc* com a RAE. Fonte: Própria.

No contexto das suas atribuições e responsabilidades, a DGEEC possui, atualmente, a seu cargo, a contratação, gestão e operacionalização da rede escolar, em conjunto com um fornecedor de serviços de internet, bem como a entrega de serviços a alguns organismos do MEC. Assim sendo, este projeto pode representar numa melhoria de qualidade de serviço para os seus clientes.

Os clientes primariamente equacionados para iniciar este projeto foram os profissionais de SI/TIC dos organismos centrais e regionais, porém, mediante o sucesso e aceitação deste modelo de *cloud computing* no futuro, é sugerido alargar o âmbito do mesmo para as escolas. Neste último caso, os professores TIC serão os clientes preferenciais devido à sua responsabilidade na gestão informática em vários agrupamentos escolares.

É importante salientar que, devido a forte limitação orçamental para este projeto, foram utilizados recursos ao nível de servidores, rede e segurança já existentes em um dos dois centros de dados que a organização possui.

3.4 Solução de Infrastructure-as-a-Service (OpenStack)

3.4.1 Descrição, instalação e arquitetura implementada

Criado em 2010, o *Openstack* consiste num sistema operativo de *cloud computing* (*IaaS*) que controla elevados volumes de armazenamento, redes e processamento, inseridos em um ou mais centros de dados. Inicialmente desenvolvido pela empresa de serviços *cloud* *Rackspace* e pela agência aeroespacial *NASA*, teve como objetivo desenvolver um sistema *cloud* *opensource*, de elevada escalabilidade, simples de implementar, com *APIs* de controlo sobre as suas funções e com excelentes funcionalidades (Openstack, 2014f). Após um elevado crescimento da comunidade de desenvolvimento, e devido ao interesse de algumas empresas tecnológicas quererem participar no projeto, foi criado um consórcio com a designação de *Openstack Foundation*, responsável pelo desenvolvimento, distribuição e adoção da solução. Atualmente, esta solução encontra-se suportada para produção e várias companhias de *software* e *hardware* prestam serviços de suporte empresarial através das suas distribuições certificadas, como: *Red Hat*, *Canonical (Ubuntu)*, *HP*, *Novell*, *Cisco*, etc... (Openstack Foundation, 2014c). Estas e outras companhias acrescentam serviços adicionais *PaaS* e *SaaS* no sentido de fornecerem aos seus clientes um melhor produto, com ferramentas de gestão centralizadas e simplificadas, por forma a ganharem novos mercados de negócio e clientes. Empresas de renome utilizam o *Openstack*, podendo assumir-se este uso como um apoio significativo destas empresas à sua adoção e desenvolvimento. (Openstack, 2014e).

O *CloudEduc* baseou-se na última versão estável do *Openstack*, à data do desenvolvimento deste projeto, com a designação “Havana” (Openstack, 2014d). Recorreu-se, também, a uma distribuição certificada pela empresa *Mirantis*, principalmente pela ausência de componentes proprietários, constituindo-se, assim, numa

versão *Openstack* completamente original e limpa, oferecendo serviços de suporte empresarial com *SLAs* e que poderão assegurar a continuidade de negócio.

Este projeto consiste numa plataforma modular e, para o seu correto funcionamento, foi necessário realizar a interconexão dos seguintes módulos que constituem o *Openstack*:

Tabela III - Funções e descrições dos módulos *Openstack* implementados

Módulo	Função	Descrição
<i>Nova</i>	Computação	Componente principal no serviço <i>IaaS</i> , responsável pela área de gestão de máquinas virtuais. Desenvolvido em <i>Python</i> e preparado para escalar através de múltiplos <i>hypervisors</i> de virtualização ou <i>baremetal</i> .
<i>Swift</i>	Armazenamento	Bloco de gestão de armazenamento, altamente escalável e redundante.
<i>Cinder</i>		Gestão de armazenamento persistente para necessidades de computação elevadas (SAN).
<i>Neutron</i>	Redes	Gestão de redes e segurança. <i>IP</i> , <i>DHCP</i> , <i>VLAN</i> , <i>VPN</i> , <i>IDS</i> , <i>firewall</i> .
<i>Horizon</i>	<i>Dashboard</i>	Consiste na consola de administração. Fornece uma visualização gráfica dos serviços <i>IaaS</i> , gestão, taxaço e monitorização.
<i>Keystone</i>	Identificação, autenticação e perfis de acesso	Gestão de identidade e acesso à plataforma via <i>web</i> ou consola <i>SSH</i> . Possui suporte de diretório de utilizadores <i>LDAP</i> e utiliza serviços de segurança com o recurso a chaves de segurança encriptadas e palavras-chave.
<i>Glance</i>	Serviços de imagem	Serviço de imagens e <i>templates</i> para servidores, cópias de segurança, etc.
<i>Ceilometer</i>	Taxação de serviço	Serviço de contagem de recursos e faturação.
<i>Heat</i>	Automação	Módulo de automação que através de código inserido em ficheiros de texto, aprovisiona aplicações <i>cloud</i> e dependências de servidores, redes, armazenamento e segurança. O código é baseado em <i>Openstack ReST API</i> e <i>AWS CloudFormation</i> .

Fonte: Openstack (2014c).

Tendo em conta o *hardware* disponível, e após a definição técnica dos módulos *Openstack* descritos anteriormente, foi elaborada uma arquitetura protegida contra falhas nos módulos de computação (*nova*), armazenamento (*cinder* e *swift*) e rede (*neutron*), conforme exemplificado na figura seguinte.

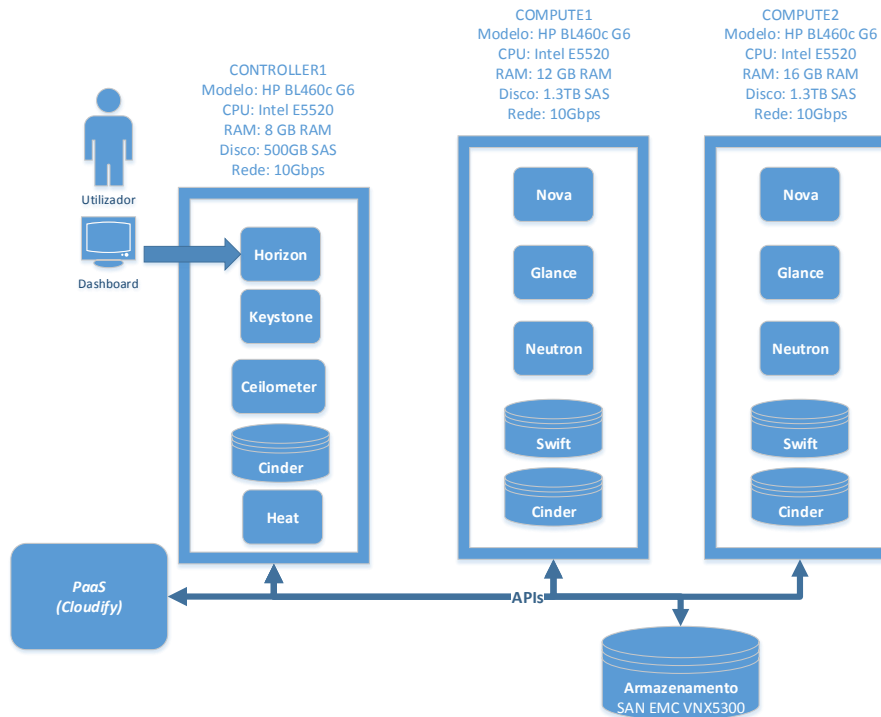


Figura 4 - Arquitetura *Openstack* implementada. Fonte: Própria.

O processo de instalação do sistema operativo (*Ubuntu* 12.04), módulos *Openstack* e parametrização base, foram executados através da ferramenta *Fuel*, desenvolvida pela empresa *Mirantis* e demonstrada no anexo B.I. Após testes efetuados com outras ferramentas, este *software* apresentou vantagens na simplicidade de uso, instalação, configuração e diagnóstico da nuvem *Openstack* instalado, em relação a outros produtos da concorrência (ex: *Red Hat RDO* ou *DevStack*).

Posteriormente, foram efetuadas parametrizações e configurações adicionais em todos os componentes do *Openstack* no sentido de adaptar os recursos existentes ao modelo de serviço a atingir.

3.4.2 Computação

A computação está encarregue de agregar vários servidores físicos que disponibilizam os seus recursos (processamento, memória e armazenamento) com o objetivo de criar um

elevado número de máquinas virtuais. O módulo *nova* ou *Openstack Compute* é o responsável pela gestão da função de computação e está acessível por *APIs* ou interfaces *web* para que possa ser utilizado por administradores e utilizadores (Openstack Foundation, 2014b).

A tecnologia assente sobre o módulo *nova* possui uma elevada flexibilidade e compatibilidade com vários *hypervisors* de virtualização, sendo uma das suas melhores características, e tem suporte com tecnologias de virtualização *VMware*, *XenServer*, *KVM*, *Microsoft Hyper-V* e compatibilidade de serviço entre as *API's Openstack* e os serviços da *Amazon Web Services*. Neste projeto, o *hypervisor* de virtualização utilizado foi o *KVM* por ser totalmente *opensource* e por possuir funcionalidades de virtualização avançadas e com maior integração tecnológica com o *Openstack*.

Foram parametrizadas quotas dos recursos disponíveis para cada cliente, como por exemplo: processamento, memória, *IPs*, redes, *switches*, armazenamento, etc. Adicionalmente, foi também fornecido um *interface web* para uma gestão simplificada das máquinas virtuais e efetuados testes pela *API* de controlo em que, programaticamente, foram lançados servidores virtuais totalmente operacionais através da plataforma *PaaS* (anexo B.II). No sentido de garantir continuidade de serviço, foram utilizados dois servidores físicos que ofereceram total robustez e proteção contra falhas, caso algum dos servidores tivesse algum erro.

3.4.3 Armazenamento

O armazenamento deste projeto foi instalado e parametrizado usando dois módulos à disposição. O primeiro foi o *swift* que possui características de alta escalabilidade, armazenamento distribuído e elevados níveis de segurança na salvaguarda dos dados (Openstack Foundation, 2014d). Por estes motivos, este módulo foi desenvolvido no

sentido de os clientes criarem repositórios de armazenamento, podendo guardar cópias de segurança de servidores, configurações ou outras utilizações que possam vir a desenvolver (anexo B.IV). O segundo foi o *glance* que consiste em armazenamento de alto desempenho, especialmente orientado para operações diárias de armazenamento das máquinas virtuais. Este módulo utiliza protocolos abertos e suporta elevados pedidos de leitura/escrita em disco, tem elevada escalabilidade e proteção contra falhas (Openstack Foundation, 2014a). Foram, ainda, configurados acessos e proteção contra falhas entre o armazenamento de alto desempenho da DGEEC e os servidores utilizados para este projeto, para permitir que os clientes do *CloudEduc* possam criar máquinas virtuais.

3.4.4 Redes (*Networking-as-a-Service*)

Neutron é a componente responsável pela conectividade IP e fornece um serviço de *networking-as-a-service* através da virtualização das redes (Openstack, 2014b). Neste projeto, foi criada uma infraestrutura de redes totalmente virtual, sendo possível estabelecer: redes, *routers*, *switches*, regras de segurança, gestão de *IPs* (públicos e privados) e conectividade IP.

Existem múltiplas tipologias de implementação do *neutron* mas, com o objetivo de isolar o tráfego entre *tenants*⁴ (ou clientes), foi utilizada a arquitetura de rede *GRE tunneling* (*Generic Routing Encapsulation*), que realiza um encapsulamento dos pacotes *IP* entre origem e destino, criando uma rede virtual e totalmente isolada de outros *tenants* (Mirantis, 2014; Lowe, 2013). Desta forma, é possível que *tenants* diferentes possam utilizar segmentos de rede iguais mas de forma isolada, permitindo, assim, uma gestão de redes simplificada, virtual e sem conflito entre os vários *tenants* da infraestrutura *IaaS*.

⁴ *Tenant* – Poderá ser descrito como um projeto virtual isolado de outros projetos. Um cliente poderá estar inserido em um mais *tenants*.

Na figura seguinte é apresentada a interligação física entre a infraestrutura *Openstack* e quatro segmentos de rede criados para o isolamento de tráfego.

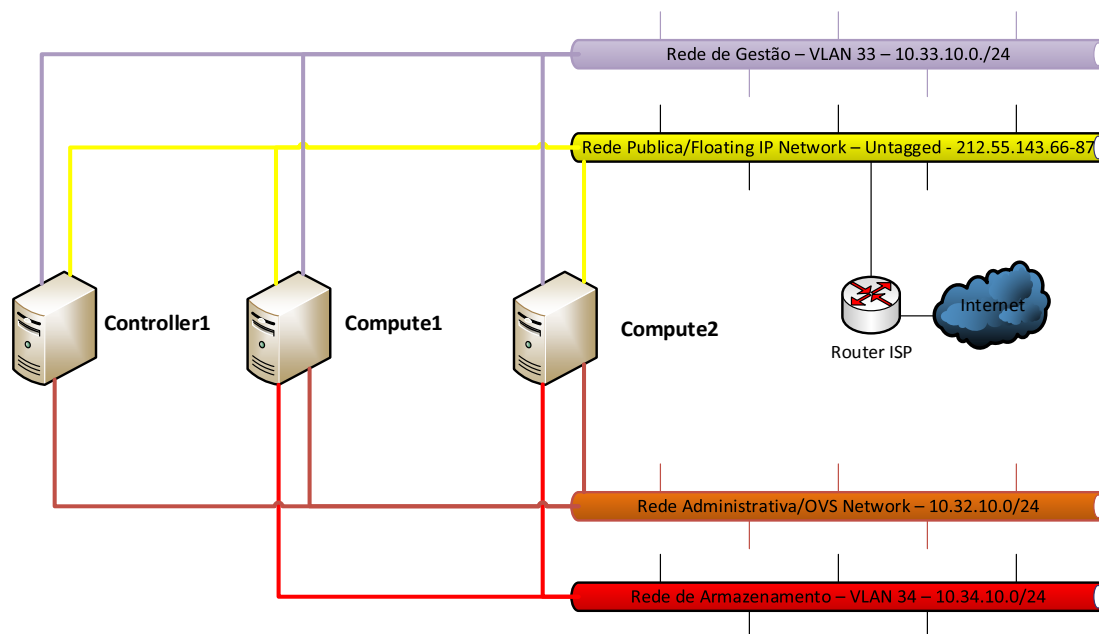


Figura 5 – Esquema de interligações IP físicas em modo *Neutron* (*GRE* com *OpenvSwitch*).

Fonte: Própria.

Com este serviço, os clientes mantêm a capacidade de controlar as suas próprias redes, continuando a estabelecer conectividade IP ao nível de *switching* e *routing* embora, desta forma, possuam maior flexibilidade numa rede totalmente virtual. No anexo B.V estão visíveis menus do *interface web* do *CloudEduc*, que permitem a visualização da tipologia de rede, *routers* e redes presentes num *tenant* de demonstração. Por esta via, os utilizadores e administradores obtêm uma visão simplificada e geral das suas redes e máquinas virtuais.

O utilizador possui também um conjunto de *IPs* públicos, com a designação de *floating IPs*, que permitem expor uma ou várias *VMs* para a rede pública (Internet), dependendo da quota estabelecida pelo administrador do *CloudEduc*. O utilizador de um determinado *tenant* poderá associar ou desassociar a qualquer momento uma *VM* que possua um *floating IP*, contudo, no momento em que desassocia, este é entregue ao módulo *neutron*

para futura reutilização. A gestão dos *floating IPs* é dinâmica e atribuída por *DHCP*, mediante a necessidade do utilizador, e é limitada à quota estabelecida e partilhada perante todos os *tenants* da infraestrutura *IaaS*.

3.4.5 *Segurança (Security-as-a-Service)*

A segurança do *tenant* e das máquinas virtuais (*VMs*) são vitais para este projeto. Assim, o utilizador possui a capacidade de gerir regras de segurança que permitem um acesso controlado a máquinas virtuais e serviços (anexo B.VI – figura 20). Adicionalmente, existe a capacidade de uma visualização gráfica através do *interface web* das regras de segurança implementadas, de modo abrangente e simplificado (anexo B.VI – figura 21). Para aceder a partir da Internet às máquinas virtuais, existem duas formas de o fazer: acedendo pela *interface web (horizon)* ou utilizando chaves de encriptação (público/privada) para uma ligação segura (anexo B.VI – figura 22). As chaves de encriptação poderão ser geradas, inicialmente, pelo *keystone* (módulo de identificação do *Openstack*) e, posteriormente, utilizadas via *software* que utilize os protocolos *VNC*⁵ ou *SPICE*⁶.

3.4.6 *Identificação, autenticação e perfis de acesso*

A identificação, autenticação e perfis de acesso foi uma prioridade num projeto desta natureza, de modo a garantir a segurança da infraestrutura e dados dos clientes. O módulo *keystone* é o responsável por estes serviços e apresenta possibilidades interligação a múltiplas fontes de repositórios para autenticação, sendo as mais destacadas para este projeto o *LDAP* e o *SQL* (Openstack, 2014a).

⁵ *VNC* - <https://www.realvnc.com/>

⁶ *SPICE* - <http://docs.openstack.org/admin-guide-cloud/content/spice-console.html>

O acesso inicial à administração do *CloudEduc* por parte dos clientes é realizado através de um *interface web* acedido pela Internet (anexo B.III). A autenticação é efetuada através de um nome de utilizador e palavra-chave, consolidado num repositório *SQL*, e posteriormente é devolvido ao cliente o seu *tenant*, de acordo com um dos seguintes perfis de acesso:

Tabela IV - Perfis de acesso e permissões

Perfil de acesso	Permissões	Funcionários com acesso ao perfil
Administrador	<p>Consiste no perfil de acesso mais elevado e com a gestão da infraestrutura <i>IaaS</i>:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Configuração das áreas de rede, segurança, armazenamento, processamento, tipos de <i>VMs</i>, e imagens de sistemas operativos. Abrangente a todos os <i>tenants</i>. • Criação de utilizadores, <i>tenants</i> e quotas de recursos tecnológicos. • Gestão dos recursos físicos (memória, <i>cpu</i>, armazenamento) da <i>private cloud</i>. • Gestão de <i>routing</i> dos <i>tenants</i> para a Internet. • Acesso a informação de utilização de recursos por parte de todos os <i>tenants</i> (taxação). • Monitorização de serviços <i>Openstack</i>. • Gestor dos servidores de virtualização. 	<ul style="list-style-type: none"> • Especialistas de informática da área de infraestruturas tecnológicas da DGEEC.
Utilizador	<p>Aprovisionamento dos seguintes recursos dentro da quota estabelecida pelo administrador:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aprovisionar máquinas virtuais. • Gestão de redes IP ao nível de <i>switching</i> e <i>routing</i>. • Criação de chaves de encriptação para o acesso via <i>SSH</i>. • Acesso aos <i>APIs</i> de acesso ao <i>tenant</i>. • Gestão de <i>firewall</i> do <i>tenant</i>. • Criação de <i>snapshots</i> e volumes de armazenamento. • Acesso a informação de taxaço do seu <i>tenant</i>. • Automação ao nível de aprovisionamento de máquinas virtuais, redes e armazenamento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Professores TIC: Responsáveis por escolas e agrupamentos. • Especialistas de informática: Gestores tecnológicos de organismos centrais e regionais.

Fonte: Própria.

Novos perfis de acesso poderão ser criados mas considerou-se que, para este projeto, estes seriam os mais adequados às necessidades iniciais de implementação.

3.4.7 Monitorização e performance

A monitorização deste tipo de infraestruturas *cloud* poderá ser complexa, dependendo do número de *tenants*, *hardware* e componentes a serem monitorizados. Num contexto ideal, deveria ser possível ter a capacidade de rastrear as diferentes áreas.

Tabela V - Áreas de monitorização num ambiente *cloud*

Tipo de Monitorização	Descrição	Software
Hardware e serviços Openstack	Nesta área deve-se monitorizar o <i>hardware</i> e <i>software</i> da <i>cloud</i> , <i>hypervisors</i> , armazenamento e serviços base do <i>Openstack</i> .	<i>Nagios</i> , <i>Ganglia</i> e <i>Zabbix</i> .
Cloud dos utilizadores ou tenants	Monitorização dos componentes de infraestrutura em cada <i>tenant</i> adjudicado a utilizadores. Exemplos: máquinas virtuais, armazenamento, <i>floating IPs</i> , grupos de segurança, redes, etc.	<i>ZenOSS</i>
Performance de recursos cloud	Nesta área, deseja-se rastrear a performance dos recursos dos vários <i>tenants</i> , a fim de prevenir congestionamentos e problemas para outros <i>tenants</i> .	<i>sFlow</i> , <i>Ganglia</i>

Fonte: Siwczak (2013).

Nesta implementação do *CloudEduc*, foi utilizada a aplicação *ZenOSS Core* que possui um interface bastante intuitivo, de fácil configuração, com funcionalidades inovadoras e com a garantia de um suporte empresarial. Esta aplicação foi configurada de forma a supervisionar os seguintes componentes:

- Performance do processamento (*CPU*), memória (*RAM*) e armazenamento dos servidores físicos que compõem o *cluster Openstack*.
- *Hypervisor* de virtualização *KVM*.
- Monitorização de componentes individuais do *tenant*: *VMs* em utilização, imagens de sistemas operativos ativas e *flavours*⁷ disponíveis.
- Estatísticas sobre dados relativos a máquinas virtuais, imagens e *flavours*.

Poderão ser visualizados no anexo B.VII várias figuras exemplificativas da monitorização realizada.

⁷ *Flavour* – Consiste num *template* de uma *VM* pré-configurada, com uma quantidade estabelecida de *CPUs*, armazenamento e memória.

3.4.8 Automação

A solução aplicada (*Openstack*) foi configurada com o módulo *Heat* que visa criar um código de automação em ficheiros de texto (*templates*) e recorrendo a *APIs* de controlo, como o *Openstack ReST API* e *AWS CloudFormation API* (OpenStack, 2014), que possuem compatibilidade com *templates* de automação da *Amazon Web Services* e fornecem as seguintes capacidades:

- Funcionalidades de auto escalamento ou aprovisionamento de *VMs*.
- Identificação das relações entre recursos (exemplo: volumes de dados e redes ligados a servidores).
- Integração com ferramentas de automação externas e amplamente utilizadas em ambientes *Linux*, como é o caso do *Puppet* e *Chef*.

Foi através do *Heat* que foi possível a implementação do serviço de *PaaS*, pois interage diretamente com o *Openstack* recorrendo às *APIs* de controlo. Por este meio, recursos virtuais são gerados de forma automática e programaticamente com o objetivo de criar servidores e plataformas *web*. Foram desenvolvidos automatismos para criar serviços tecnológicos baseados em tecnologia *Microsoft* (ex: *ActiveDirectory-as-a-Service*, *Database-as-a-Service*, etc.) e *Linux* (anexo B.VIII).

3.5 Solução de Platform-as-a-Service (Cloudify)

O serviço *PaaS* neste projeto surge como forma de complementar o trabalho até agora descrito, tendo sido importante avaliar uma plataforma de *PaaS* que se integrasse tecnologicamente com o serviço de *IaaS* (*Openstack*). Através da informação do artigo elaborado por Ferry (2013), e pela investigação realizada no mercado de soluções *PaaS* em *opensource*, a escolha encontrava-se restringida entre o *Cloudify* ou o *Cloud Foundry*. A escolha recaiu sobre o *Cloudify* (versão 2.7) por apresentar excelentes características

técnicas, com documentação muito bem detalhada, exemplos de implementação, comunidade de desenvolvimento muito ativa, presença de suporte empresarial e com parceiros de renome (*Microsoft, IBM, Citrix, HP, Openstack*, etc.).

A implementação do *Cloudify* traduziu-se, inicialmente, no desenvolvimento da arquitetura necessária (anexo C.I e C.II) e, depois, na instalação e configuração do *software* num servidor *Linux* (*CentOS 6.5*). Este servidor apenas possui funções de configuração e comporta-se como um repositório de *scripts* que instala plataformas em vários serviços de nuvem e, portanto, não existem elevadas dependências do serviço para com este servidor, podendo ser facilmente substituído.

Nem todas as funcionalidades do *Cloudify* foram testadas e avaliadas devido a constrangimentos de tempo. No entanto, julga-se que foram testadas as principais e que se encontram demonstradas na tabela seguinte:

Tabela VI – Lista de funcionalidades testadas no projeto *Cloudify*

Funcionalidade	Descrição	Teste elaborado
Multi-Cloud	Funciona com múltiplos sistemas de virtualização e de <i>cloud</i> : <i>Openstack, HP Public Cloud, Amazon AWS, CloudStack, VMware, Google GCE</i> , etc.	Foram realizados testes de instalação de plataformas <i>web</i> com a nuvem privada <i>CloudEduc</i> , baseada em <i>Openstack</i> , e com a nuvem pública <i>HP Public Cloud</i> (anexo C.III).
Automação	Possui compatibilidade com ferramentas de automação e configuração, como por exemplo: <i>Puppet, Chef, Openstack Heat, Fabric e Docker</i> .	Realizadas instalações e configurações de plataformas recorrendo ao <i>Puppet, Chef e Openstack Heat</i> .

Monitorização embutida	Capacidade de monitorizar e registar alterações (<i>logs</i>) de todos os eventos das plataformas instaladas. É analisado em tempo real a performance de todas as estruturas virtuais e físicas.	Verificada a capacidade de registar dados como a performance, alterações de registo em todas as plataformas e dependências tecnológicas físicas e virtuais. A visualização de todos estes dados é bastante intuitiva (anexo C.IV).
Auto escalabilidade	Capacidade de avaliar estrangulamentos de plataformas virtuais e de gerar novos recursos (<i>VMs</i> e balanceadores de carga). Permite aumentar ou diminuir <i>VMs</i> mediante as necessidades de utilização.	Realizado um teste de sobrecarga em uma plataforma <i>web</i> injetando carga sobre o balanceador. Automaticamente, e perante a parametrização definida, o sistema reagiu acrescentando uma <i>VM</i> e reconfigurando o balanceador de carga. Posteriormente, diminuiu e eliminou recursos (<i>VMs</i>) quando já não eram necessários.
Auto regeneração de serviços	Em caso de falha de alguma <i>VM</i> , o <i>Cloudify</i> gera novas instâncias que permitem a recuperação do sistema. É necessária programação e parametrização antecipada.	Propositadamente foram parados serviços de uma plataforma <i>web</i> . O sistema reagiu voltando a ligar os serviços.

Fonte: Própria.

O *Cloudify* apresenta vantagens por ser totalmente *opensource*, baseado em linguagens de programação abertas (*Java*, *Javascript*, *Groovy*, etc.) e utilizar protocolos abertos que garantem a interoperabilidade, como foi o caso de integração entre o *Cloudify* e o *Openstack*. Verificou-se que, ao aprovisionar novas plataformas *web* através do *Cloudify*, eram gerados novos componentes no *Openstack*, como, por exemplo, redes, *routers*, *switchs*, parametrização de IPs (públicos e privados), novas regras de segurança e *VMs*.

Todos estes campos descritos anteriormente foram programaticamente colocados num *script* de configuração e executados corretamente.

4. Conclusões

O setor da educação carece do desenvolvimento de novas formas de cooperação e processos de trabalho com o objetivo de melhorar os seus resultados e eficiência. Como colaborador da organização onde este trabalho foi elaborado, pode-se dizer que existe uma absoluta necessidade de reduzir investimento (*CAPEX*) e custos de manutenção e operação (*OPEX*). Perante as restrições financeiras que o setor da educação atravessa, será imperativo obter melhores resultados, com menos recursos, razão pela qual este projeto tentou contribuir para iniciar um novo formato de disponibilização de serviços TIC.

O presente trabalho tentou introduzir dois elementos na consciencialização da organização e principalmente nos técnicos de SI/TIC. Em primeiro lugar, e de um ponto de vista técnico, demonstrar a crescente necessidade de aumentar a eficiência dos recursos tecnológicos e humanos, introduzindo processos que configurem maior automação, autonomia, flexibilidade, fiabilidade e abstração perante a tecnologia. Em segundo lugar, tentou demonstrar aos decisores da organização que o investimento numa *nuvem privada* poderá ser uma mais-valia para o setor, através da redução de investimento em tecnologia e diminuição dos custos de operação e manutenção.

Graças a este projeto, foi possível obter experiência e conhecimento prático na adoção de uma *nuvem privada*, não só das vantagens mas das dificuldades, limitações e responsabilidades que um modelo de implementação deste género acarreta.

A decisão de adotar *Openstack* como serviço *IaaS* foi considerada uma mais-valia dado que as tecnologias, protocolos e normas abertas que aquela suporta no seu núcleo abrem

portas a uma maior independência de fabricantes tecnológicos e com maior integração com outras soluções de *software*, como por exemplo *PaaS*, monitorização e performance, automação e virtualização. Outra vantagem consiste na possibilidade de preparar o *CloudEduc* para uma integração com uma nuvem pública, algo que a *Openstack* permite, através de distribuições certificadas da *Rackspace* ou *HP*.

O *Cloudify*, como gerador de plataformas (*PaaS*), foi uma excelente prova de ensaio e os resultados que se obtiveram superaram as expectativas. Os utilizadores tiveram a capacidade de gerar plataformas, de forma autónoma e sem elevado esforço, tudo isto aliado a uma visão unificada (*dashboard*) do estado e performance dos seus recursos e plataformas. A capacidade de parametrizar o *Cloudify* de modo a reagir automaticamente em casos de falha de serviço ou eventuais picos no acesso às plataformas, traduz-se numa vantagem técnica para a continuidade da área de negócio. Através dos testes elaborados, de integração com uma nuvem privada (*Openstack*) e com uma nuvem pública da HP, poder-se-á afirmar que foram criadas as capacidades iniciais de uma nuvem híbrida.

4.1 Recomendações e Oportunidades de Melhoria

Este projeto permitiu ter uma visão estimulante sobre o estado atual e amadurecimento das tecnologias *cloud*, mas a abrangência das tecnologias utilizadas é muito ampla e o grau de conhecimento necessário é elevado. Por estes motivos, recomenda-se a continuação deste projeto, realizando novas iterações melhoradas, tendo em conta as seguintes oportunidades de melhoria:

- i. Obtendo melhores recursos financeiros e tecnológicos, poderão ser avaliadas e ensaiadas outras distribuições empresariais *Openstack* que poderão garantir melhores e mais funcionalidades. De acordo com o artigo de Nelson (2013), é

- indicada a *HP* como a melhor distribuição *Openstack* ao nível de nuvem privada e no segmento empresarial.
- ii. Melhoria nos serviços da área de segurança, recorrendo a uma *firewall* virtual mais robusta e com funcionalidades acrescidas. Deverá incluir características de qualidade de serviço (*QoS*) e prevenção contra ataques externos. Atualmente, existem soluções no mercado como o *DOM9* que poderão fornecer segurança adicional a nuvens privadas.
 - iii. Elaboração de mais serviços na área de redes: desenvolver serviços de rede mais elaborados, como por exemplo, *LB-as-a-Service*, *VPN-as-a-Service* e *IDS-as-a-Service*. Estes serviços estão presentes em soluções empresariais (ex: *Juniper Contrail*) no próprio *neutron* do *Openstack*.
 - iv. Capacitar a infraestrutura *IaaS* de melhores serviços de auditoria e registos de alterações (*logs*).
 - v. Reformulação da autenticação e repositório de utilizadores, alterando a autenticação de *SQL* para *LDAP*, utilizando um repositório atualmente em produção, baseado em tecnologia Oracle, que possui os funcionários dos organismos centrais, regionais e escolas.
 - vi. Desenvolver competências em automação e programação do *Cloudify*.

4.2 Limitações e dificuldades sentidas.

Como em qualquer projeto, foram sentidas limitações e dificuldades entre as quais se destacam as seguintes:

- i. Os recursos financeiros adjudicados a este projeto foram escassos e a sua elaboração técnica foi desenvolvida através de recursos técnicos já existentes e limitados (servidores, redes e segurança).

- ii. Tentou-se desenvolver uma nuvem híbrida através de um modelo de serviço *IaaS*, no entanto, a dificuldade técnica é muito elevada e exige custos de operação elevados. A única companhia que demonstrou viabilidade técnica foi a *Rackspace*, mas os custos do piloto seriam elevados devido à necessidade de aluguer de equipamento dedicado. Não existiu viabilidade financeira para a execução.
- iii. A área de redes (*neutron*) apresentou-se como a maior dificuldade devido à sua elevada complexidade, arquitetura e documentação a precisar de melhoramentos.
- iv. A instalação e arquitetura do *Openstack* apresentam elevada complexidade. A arquitetura foi alterada por várias vezes devido a limitações internas na rede IP da DGEEC. A instalação e configuração apresentam dificuldades acrescidas e foram testadas ferramentas como o *Red Hat RDO*, *scripts* de instalação automática e processos manuais de instalação. Contudo, o *software Fuel* da empresa *Mirantis* apresentou-se como a melhor ferramenta de instalação, apresentando documentação detalhada e exemplos de instalação *Openstack*.

5. Bibliografia

- AMA (2012). *Plano global estratégico de racionalização e redução de custos nas TIC na Administração Pública*. Disponível em: http://www.ama.pt/images/pgerrc_tic.pdf. [Acesso em: 18 Agosto 2014].
- Armbrust, M., Fox, A., Griffith, R., Joseph, A. & RH (2009). Above the clouds: A Berkeley view of cloud computing. *University of California, Berkeley, Tech. Rep. UCB*. pp. 07–013.
- Aruna, P., Devi, L., Devi, D. & Priya, N. (2013). Private Cloud for Organizations: An Implementation using OpenStack. *ijser.org*. 4 (10). pp. 82–87.
- Bist, M., Wariya, M. & Agarwal, A. (2012). *Comparing Delta , Open Stack and Xen Cloud Platforms : A Survey on Open Source IaaS*. pp. 96–100.
- Chandra, D.G. & Borah Malaya, D. (2012). Role of cloud computing in education. *2012 International Conference on Computing, Electronics and Electrical Technologies (ICCEET)*. pp. 832–836.
- DGEEC (2012). *Direção-Geral de Estatísticas da Educação e Ciência - Atribuições*. Disponível em: <http://www.dgeec.mec.pt/np4/73/>. [Acesso em: 30 Dezembro 2013].
- Diez, Ó. & Silva, A. (2013). Govcloud : Using Cloud Computing in Public. *IEEE Technology And Society Magazine*.
- Dillon, T., Wu, C. & Chang, E. (2010). Cloud Computing: Issues and Challenges. *2010 24th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications*. pp. 27–33.
- Doelitzscher, F., Sulistio, A., Reich, C., Kuijs, H. & Wolf, D. (2011). Private cloud for collaboration and e-Learning services: From IaaS to SaaS. *Computing (Vienna/New York)*. 91. pp. 23–42.
- EMC (2010). *Private Cloud Means Business : Costs down and agility up*. Disponível em: <http://www.emc.com/collateral/emc-perspective/h6870-consulting-cloud-ep.pdf>. [Acesso em: 10 Agosto 2014].
- Ferry, N., Rossini, A., Chauvel, F., Morin, B. & Solberg, A. (2013). Towards Model-Driven Provisioning, Deployment, Monitoring, and Adaptation of Multi-cloud Systems. *2013 IEEE Sixth International Conference on Cloud Computing*. pp. 887–894.

- Gigaspace (2014a). *Cloudify Product Architecture*. Disponível em: <http://wiki.gigaspace.com/cloudify-product-architecture>. [Acesso em: 2 Setembro 2014].
- Gigaspace (2014b). *Easy Deployment of Mission-Critical Applications to the Cloud*. Disponível em: http://www.gigaspace.com/system/files/private/free/resource/CloudifyVPforWebfinal.pdf&ei=LikGVMOFHMT4yQPr7IKoDg&usg=AFQjCNFQqB_OA7whxXqS-ie1fLAn3iv_lw&sig2=k-w0PxmTzMrCuK_VJomWPg&bvm=bv.74115972,d.bGQ. [Acesso em: 10 Setembro 2014].
- Hussein, S. & Arafat, H. (2013). *An Open Cloud Model for Expanding Healthcare Infrastructure*. pp. 84–91.
- Kibe, S., Watanabe, S., Kunishima, K., Adachi, R., Yamagiwa, M. & Uehara, M. (2013). PaaS on IaaS. *2013 IEEE 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA)*. pp. 362–367. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6531778>. [Acesso em: 4 Julho 2014].
- Lewis, G.A. (2013). Role of standards in cloud-computing interoperability. Em: *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences*. 2013, pp. 1652–1661.
- Li, X., Li, Y., Liu, T., Qiu, J. & Wang, F. (2009). The Method and Tool of Cost Analysis for Cloud Computing. *2009 IEEE International Conference on Cloud Computing*. pp. 93–100.
- Litoiu, M., Woodside, M. & Wong, J. (2010). *A business driven cloud optimization architecture*.
- Lowe, S. (2013). *Using GRE Tunnels with Open vSwitch* - blog.scottlowe.org - *The weblog of an IT pro specializing in virtualization, networking, cloud, servers, & Macs*. Disponível em: <http://blog.scottlowe.org/2013/05/07/using-gre-tunnels-with-open-vswitch/>. [Acesso em: 24 Agosto 2014].
- Marston, S., Li, Z., Bandyopadhyay, S., Zhang, J. & Ghalsasi, A. (2011). Cloud computing - The business perspective. *Decision Support Systems*. 51. pp. 176–189.
- McMillan, B. (2012). *Economic adaptability Business drivers and strategy for a private cloud*. [Online]. 2012. Microsoft Services. Disponível em: <http://www.microsoft.com/enterprise/it-trends/cloud-computing/articles/economic-adaptability-business-drivers-and-strategy-for-a-private-cloud.aspx#fbid=RuzgM8qLrGr>. [Acesso em: 13 Agosto 2014].

- Mell, P. & Grance, T. (2011). The NIST Definition of Cloud Computing-Recommendations of the National Institute of Standards and Technology. NIST. *NIST Special Publication*.
- Mirantis (2014). *Neutron Reference Architectures — Mirantis OpenStack v5.0.1 / Documentation*. Disponível em: <http://docs.mirantis.com/openstack/fuel/fuel-5.0/reference-architecture.html#neutron-gre-segmentation-planning>. [Acesso em: 24 Agosto 2014].
- Nelson, L.E. (2013). *The Forrester Wave™ : Private Cloud*. Disponível em: <http://www.forrester.com/The+Forrester+Wave+Private+Cloud+Solutions+Q4+2013/fulltext/-/E-RES104661>. [Acesso em: 8 Julho 2014].
- OpenStack (2014). *Heat - OpenStack*. Disponível em: <https://wiki.openstack.org/wiki/Heat>. [Acesso em: 25 Agosto 2014].
- Openstack (2014a). *Keystone Architecture*. Disponível em: <http://docs.openstack.org/developer/keystone/architecture.html#>. [Acesso em: 24 Agosto 2014].
- Openstack (2014b). *Neutron - OpenStack*. Disponível em: <https://wiki.openstack.org/wiki/Neutron>. [Acesso em: 24 Agosto 2014].
- Openstack (2014c). *OpenStack Modules*. Disponível em: https://wiki.openstack.org/wiki/Main_Page. [Acesso em: 23 Agosto 2014].
- Openstack (2014d). *OpenStack Releases*. Disponível em: <https://wiki.openstack.org/wiki/Releases>. [Acesso em: 23 Agosto 2014].
- Openstack (2014e). *User Stories of OpenStack*. Disponível em: [http://www.openstack.org/user-stories/#Information Technology](http://www.openstack.org/user-stories/#Information%20Technology). [Acesso em: 23 Agosto 2014].
- Openstack (2014f). *What is Openstack?* Disponível em: <http://www.openstack.org/>. [Acesso em: 23 Agosto 2014].
- Openstack Foundation (2014a). *Glance's documentation*. Disponível em: <http://docs.openstack.org/developer/glance/>. [Acesso em: 2 Setembro 2014].
- Openstack Foundation (2014b). *OpenStack Compute*. Disponível em: <http://www.openstack.org/software/openstack-compute/>. [Acesso em: 2 Setembro 2014].
- Openstack Foundation (2014c). *OpenStack Foundation Companies*. Disponível em: <http://www.openstack.org/foundation/companies/>. [Acesso em: 30 Dezembro 2013].

- Openstack Foundation (2014d). *Swift's Documentation*. Disponível em: <http://docs.openstack.org/developer/swift/>. [Acesso em: 2 Setembro 2014].
- Pinhal, N. (2012). *Private Cloud Computing Platforms*. Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- Pitt, S., Harris, R., Gendron, D. & Danford, T. (2009). *The Transformation of Education through State Education Clouds Authors*. Disponível em: <http://www.ibm.com/ibm/files/N734393J24929X18/EBW03002-USEN-00.pdf>. [Acesso em: 26 Junho 2014].
- Rekhy, R. (2011). *Cloud computing in education*. Disponível em: <http://www.mydigitalfc.com/op-ed/cloud-computing-education-112>. [Acesso em: 4 Julho 2014].
- Santos, S.S. (2012). *Advantages and options of private cloud computing*. Disponível em: <http://www.ibm.com/developerworks/rational/library/private-cloud-advantages-options/>. [Acesso em: 5 Junho 2014].
- Scott, D. (2010). *Building Private Clouds With Real-Time Infrastructure Architectures*. Disponível em: ftp://aix.software.ibm.com/software/in/tivoli_shortlisted_building_private_clouds_with_174718.pdf. [Acesso em: 6 Junho 2014].
- Sefraoui, O. & Aissaoui, M. (2012). *Comparison of multiple IaaS Cloud platform solutions*.
- Siwczak, P. (2013). *Practical Considerations for Monitoring Openstack Cloud*. Disponível em: <https://www.mirantis.com/blog/openstack-monitoring/>. [Acesso em: 25 Agosto 2014].
- Sultan, N. (2010). Cloud computing for education: A new dawn? *International Journal of Information Management*. pp. 109–116.
- UGC (2014). *Total No. of Universities in the Country*. Disponível em: <http://www.ugc.ac.in/oldpdf/alluniversity.pdf>. [Acesso em: 4 Julho 2014].
- Vaquero, L. & Roderio-Merino, L. (2008). A break in the clouds: towards a cloud definition. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*. pp. 50–55.
- Wang, B. & Xing, H. (2011). The application of cloud computing in education informatization. *2011 International Conference on Computer Science and Service System (CSSS)*. pp. 2673–2676.
- Zhang, Q., Cheng, L. & Boutaba, R. (2010). Cloud computing: State-of-the-art and research challenges. *Journal of Internet Services and Applications*. pp. 7–18.

6. Anexos

A. Anexos – Revisão de literatura

I. Cálculo de amortização “CloudTCO”

A figura seguinte exemplifica um menu e as várias componentes de *cloud* (*software*, *hardware*, energia, arrefecimento, redes, etc.) que constituem o cálculo de um *Cloud Total Cost of Ownership* (Li et al, 2009):

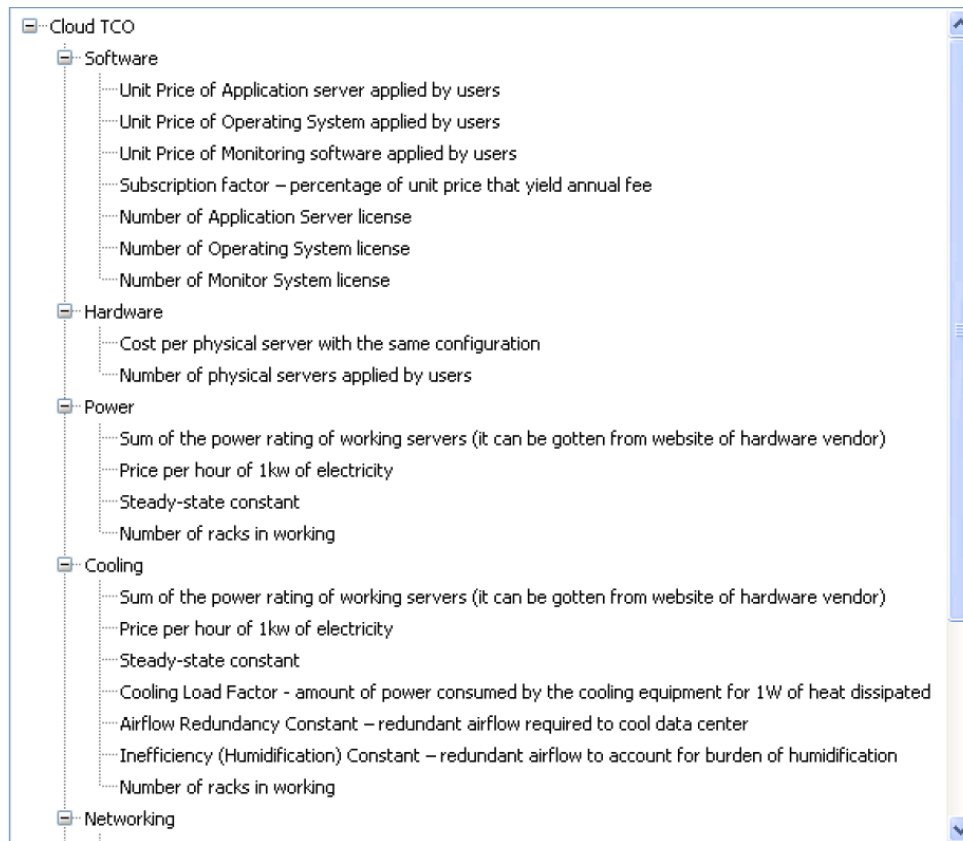


Figura 6 - Métricas para o cálculo do "Cloud TCO". Fonte: Li et al (2009), p. 98.

II. Cálculo de custo de utilização

De acordo com Li et al (2009), a figura seguinte representa o cálculo de custo de utilização a três níveis para efeitos de amortização. A camada de topo representa as variáveis de entrada (quantidade e densidade de *VMs*), que originam o número de servidores e *racks*

necessários para o efeito. Posteriormente, também são calculadas todas as variáveis de saída que incluem os custos relacionados com os servidores, *software*, energia, arrefecimento, redes, suporte, etc.

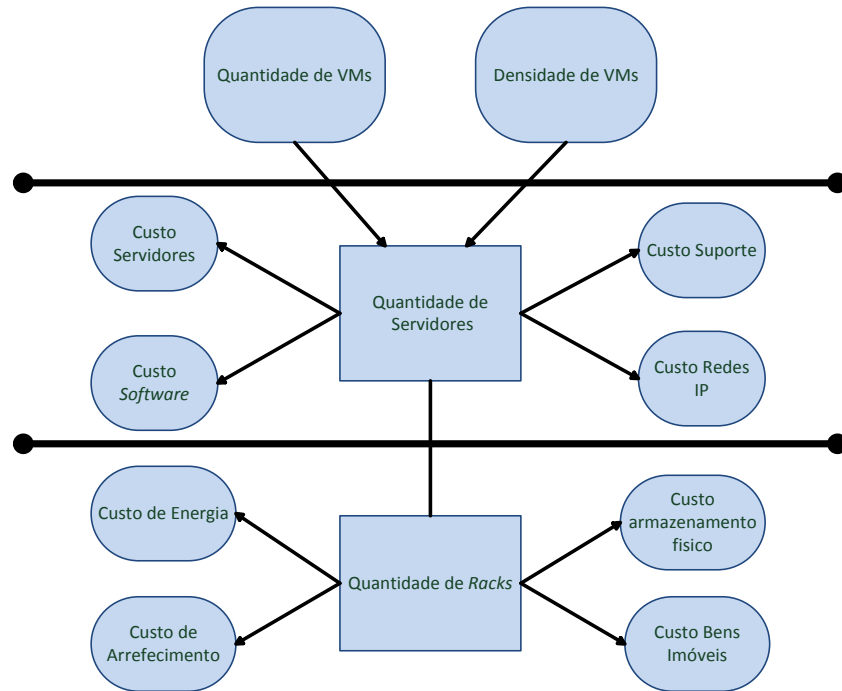


Figura 7 - Modelo de cálculo de custo de utilização de 3 níveis. Fonte: Li et al (2009), p. 96.

III. Casos de aplicação de uma *private cloud*

Este anexo apresenta os casos em que se poderá aplicar uma *private cloud*. A sua aplicação depende da relação de serviços *standard* versus a quantidade de volume de dados.

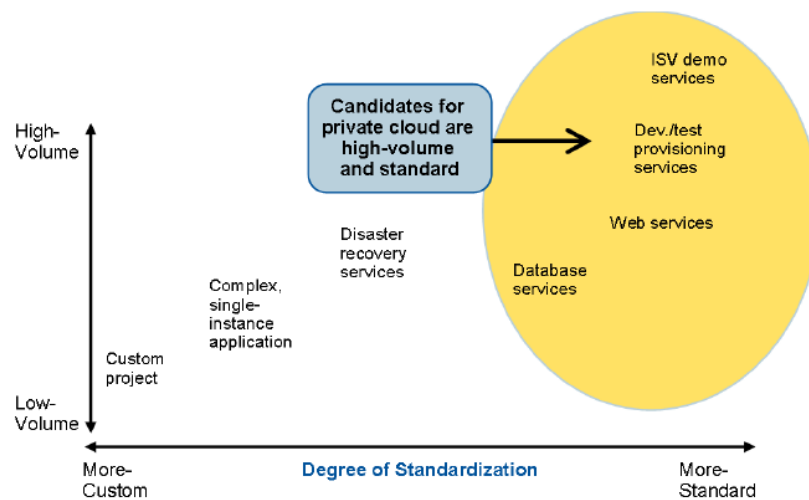


Figura 8 – Projetos candidatos à aplicação de uma *private cloud*. Fonte: Scott (2010), p. 10.

IV. Distribuição geográfica do “Virtual Computing Lab”

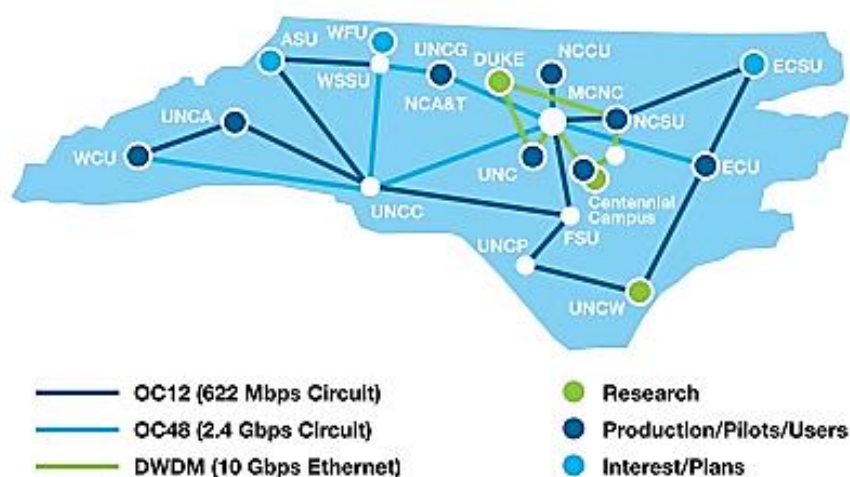


Figura 9- “Virtual Computing Lab” na Carolina do Norte dos EUA. Fonte: Pitt et al (2009).

V. Modelos de serviço *cloud* e camadas de recursos

Neste caso, é visualizado a relação entre os modelos de serviço *cloud* e os recursos tecnológicos utilizados em cada camada e exemplos de serviço.

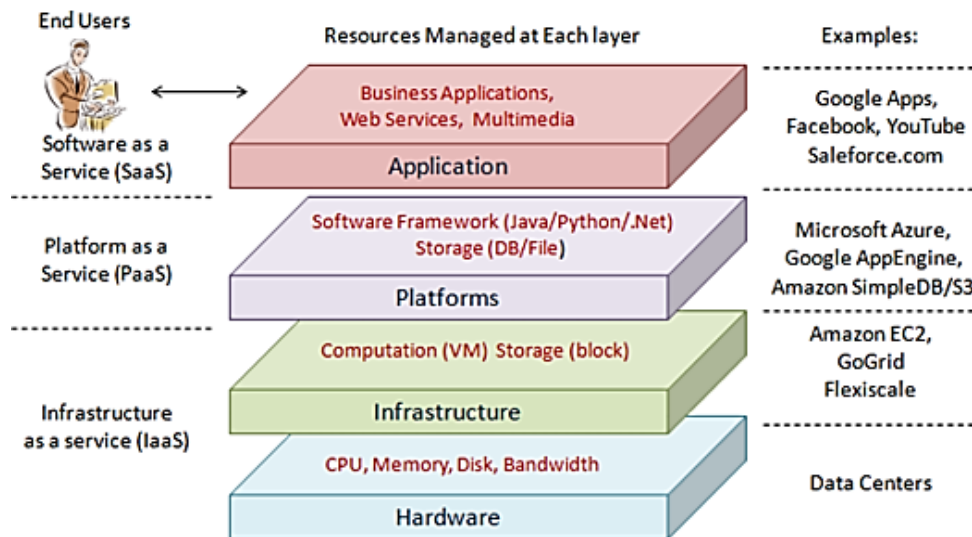


Figura 10 – Relação das camadas de recursos *versus* modelos de serviço *cloud*. Fonte: Zhang (2010), p. 9.

B. Anexos – Módulo IaaS.

I. Software de instalação Openstack

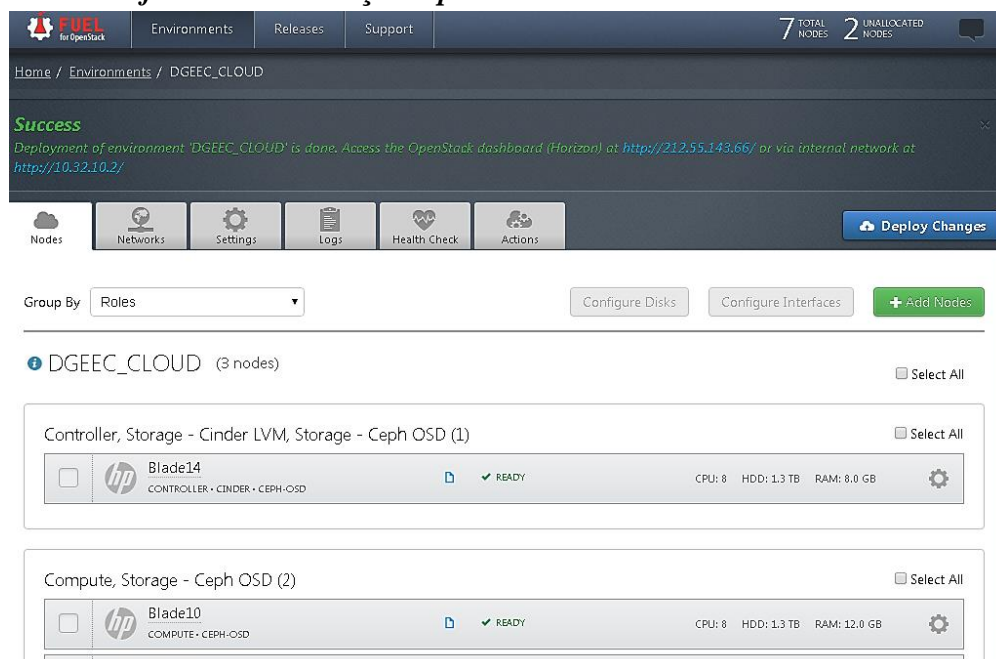


Figura 11 – Figura demonstrativa da ferramenta *Fuel*. Fonte: Própria.

II. Módulo nova ou “Openstack Compute”

Neste anexo poderão ser visualizados o *interface web* que permite a gestão das máquinas virtuais, o interface de quotas e utilização e os APIs de controlo dos módulos *Openstack* do *CloudEduc*.

Instances Logged in as: admin [Settings](#) [Help](#) [Sign Out](#)

Instances

<input type="checkbox"/>	Instance Name	Image Name	IP Address	Size	Keypair	Status	Task	Power State	Uptime	Actions
<input type="checkbox"/>	cloudify-agent-jboss-mysql.jboss-8	Cloudify-Image-CentOS65	177.86.0.9 212.55.143.86	m1.small 2GB RAM 1 VCPU 20.0GB Disk	cloudify-dgeec	Active	None	Running	5 months, 2 weeks	<input type="button" value="Create Snapshot"/> <input type="button" value="More"/>
<input type="checkbox"/>	cloudify-agent-jboss-mysql.mysql-7	Cloudify-Image-CentOS65	177.86.0.8 212.55.143.85	m1.small 2GB RAM 1 VCPU 20.0GB Disk	cloudify-dgeec	Active	None	Running	5 months, 2 weeks	<input type="button" value="Create Snapshot"/> <input type="button" value="More"/>
<input type="checkbox"/>	cloudify-manager-1	Cloudify-Image-CentOS65	177.86.0.2 212.55.143.80	m1.medium 4GB RAM 2 VCPU 40.0GB Disk	cloudify-dgeec	Active	None	Running	5 months, 2 weeks	<input type="button" value="Create Snapshot"/> <input type="button" value="More"/>

Displaying 3 items

Figura 12 – Gestão de máquinas virtuais via *interface web*. Fonte: Própria (*CloudEduc*).

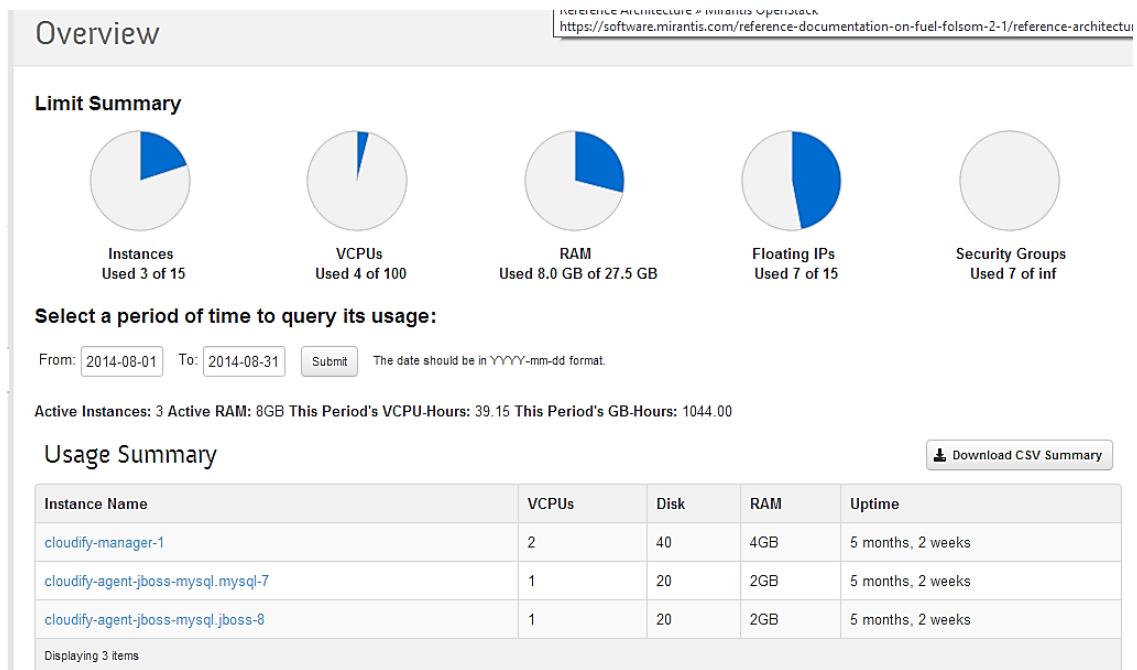


Figura 13 – *Interface web* do *CloudEduc* com quotas e utilização de recursos. Fonte: Própria.

Access & Security

Logged in as: admin [Settings](#) [Help](#) [Sign Out](#)

[Security Groups](#) [Keypairs](#) [Floating IPs](#) **API Access**

API Endpoints


[Download OpenStack RC File](#) [Download EC2 Credentials](#)

Service	Service Endpoint
Compute	http://212.55.143.66:8774/v2/ab141dbc0fc24955a370a80d6b2f96d2
Network	http://212.55.143.66:9696
Image	http://212.55.143.66:9292
Mapreduce	http://10.33.10.2:8386/v1.1/ab141dbc0fc24955a370a80d6b2f96d2
Metering	http://212.55.143.66:8777
Volume	http://212.55.143.66:8776/v1/ab141dbc0fc24955a370a80d6b2f96d2
EC2	http://212.55.143.66:8773/services/Cloud
Orchestration	http://212.55.143.66:8004/v1/ab141dbc0fc24955a370a80d6b2f96d2
Object Store	http://212.55.143.66:6780/swift/v1
Identity	http://212.55.143.66:5000/v2.0

Displaying 10 items

Figura 14 – APIs de controlo dos vários módulos *Openstack*. Fonte: Própria.

III. Interface de acesso web ao CloudEduc



DASHBOARD

Log In

User Name

Password

[Sign In](#)

Figura 15- Interface web de acesso (*Horizon*). Fonte: Própria.

IV. Armazenamento

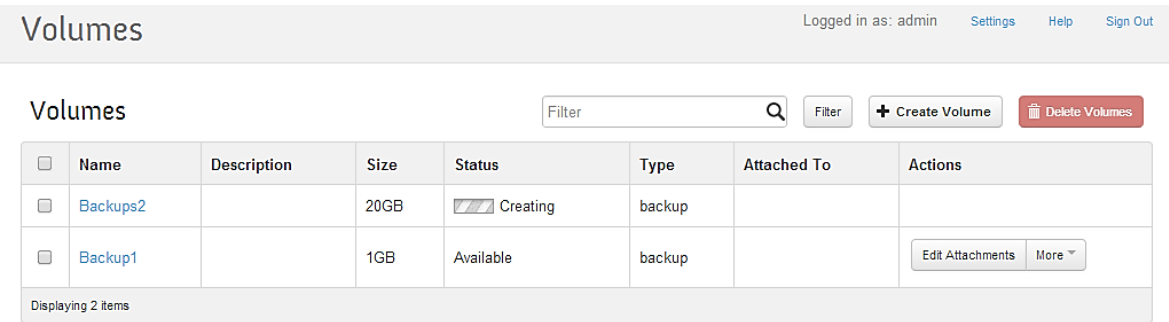


Figura 16 – Armazenamento redundante no *CloudEduc*. Fonte: Própria.

V. Neutron (Networking-as-a-Service)

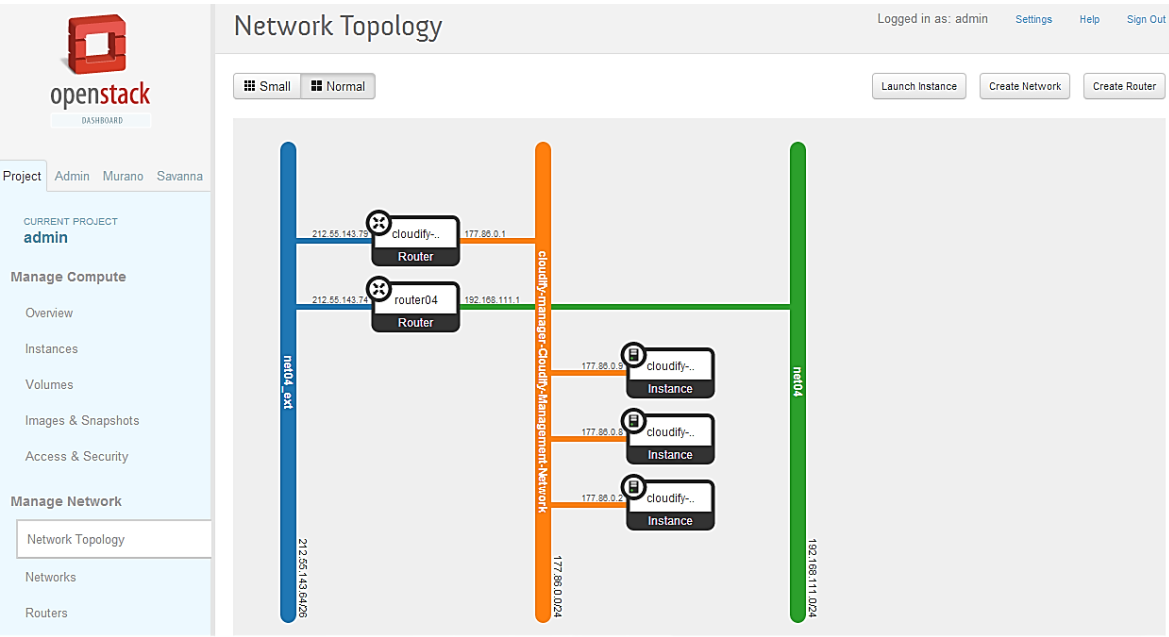
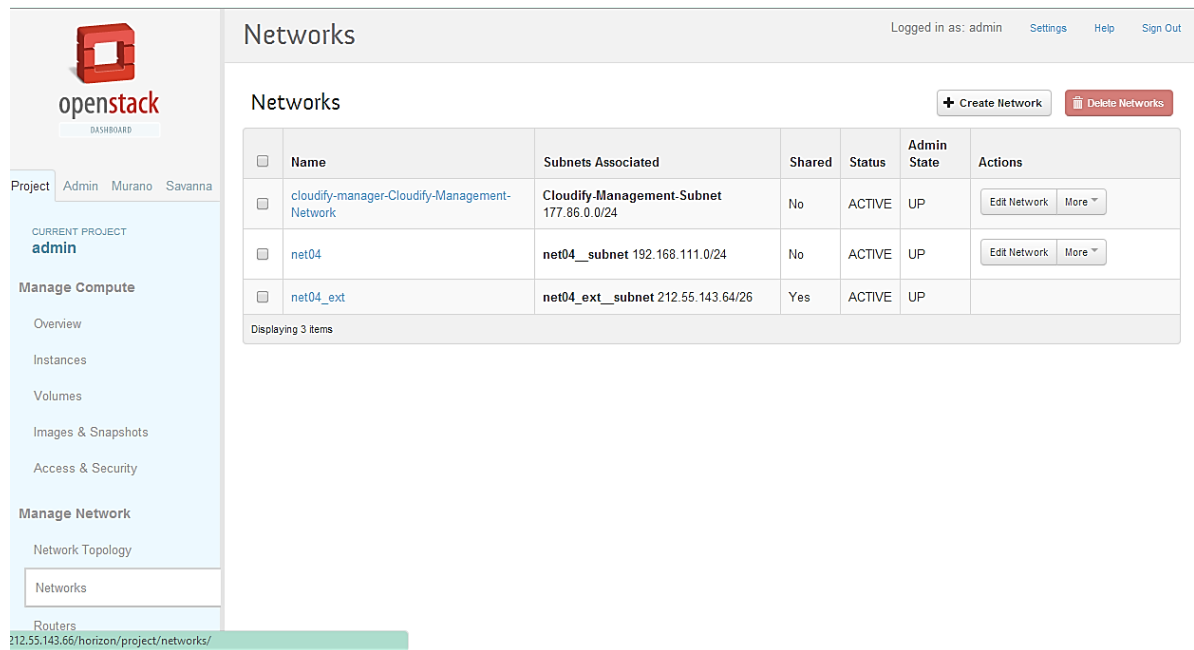


Figura 17 – Exemplo de uma topologia da rede virtual de um *tenant*. Fonte: Própria.



Networks

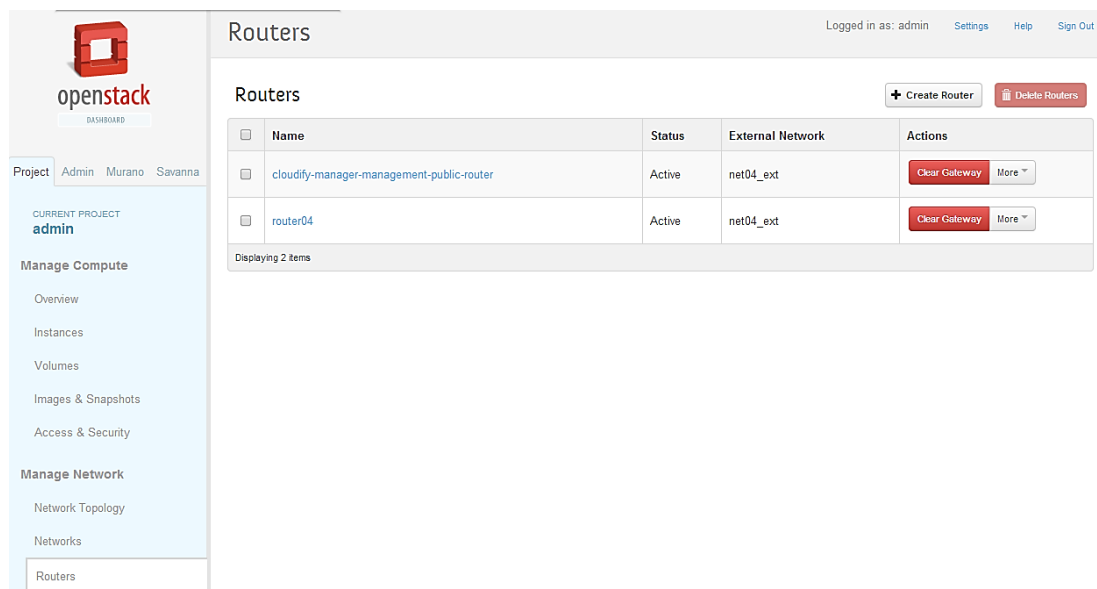
Logged in as: admin [Settings](#) [Help](#) [Sign Out](#)

Networks [+ Create Network](#) [Delete Networks](#)

<input type="checkbox"/>	Name	Subnets Associated	Shared	Status	Admin State	Actions
<input type="checkbox"/>	cloudify-manager-Cloudify-Management-Network	Cloudify-Management-Subnet 177.86.0.0/24	No	ACTIVE	UP	Edit Network More
<input type="checkbox"/>	net04	net04__subnet 192.168.111.0/24	No	ACTIVE	UP	Edit Network More
<input type="checkbox"/>	net04_ext	net04_ext__subnet 212.55.143.64/26	Yes	ACTIVE	UP	

Displaying 3 items

Figura 18 – Redes presentes num *tenant*. Fonte: Própria.



Routers

Logged in as: admin [Settings](#) [Help](#) [Sign Out](#)

Routers [+ Create Router](#) [Delete Routers](#)

<input type="checkbox"/>	Name	Status	External Network	Actions
<input type="checkbox"/>	cloudify-manager-management-public-router	Active	net04_ext	Clear Gateway More
<input type="checkbox"/>	router04	Active	net04_ext	Clear Gateway More

Displaying 2 items

Figura 19 – *Routers* presentes num *tenant*. Fonte: Própria.

VI. Segurança (Security-as-a-Service)

Add Rule

Rule *
Custom TCP Rule

Direction
Ingress

Open Port *
Port

Port

Remote *
CIDR

CIDR
0.0.0.0/0

Description:
Rules define which traffic is allowed to instances assigned to the security group. A security group rule consists of three main parts:

Rule: You can specify the desired rule template or use custom rules, the options are Custom TCP Rule, Custom UDP Rule, or Custom ICMP Rule.

Open Port/Port Range: For TCP and UDP rules you may choose to open either a single port or a range of ports. Selecting the "Port Range" option will provide you with space to provide both the starting and ending ports for the range. For ICMP rules you instead specify an ICMP type and code in the spaces provided.

Remote: You must specify the source of the traffic to be allowed via this rule. You may do so either in the form of an IP address block (CIDR) or via a source group (Security Group). Selecting a security group as the source will allow any other instance in that security group access to any other instance via this rule.

Cancel Add

Figura 20 – Menu de criação de regras de acesso. Fonte: Própria.

openstack
DASHBOARD

Project Admin Murano Savanna

CURRENT PROJECT
admin

Manage Compute
Overview
Instances
Volumes
Images & Snapshots
Access & Security

Manage Network
Network Topology
Networks
Routers

Access & Security

Logged in as: admin Settings Help Sign Out

Security Groups Keypairs Floating IPs API Access

Security Groups

+ Create Security Group Delete Security Groups

Name	Description	Actions
cloudify-manager-management	Security groups cloudify-manager-management	Edit Rules More
cloudify-manager-cluster	Security groups cloudify-manager-cluster	Edit Rules More
cloudify-manager-jboss-mysql-jboss	Security groups cloudify-manager-jboss-mysql-jboss	Edit Rules More
default	default	Edit Rules
cloudify-manager-agent	Security groups cloudify-manager-agent	Edit Rules More
cloudify-manager-jboss-mysql	Security groups cloudify-manager-jboss-mysql	Edit Rules More
cloudify-manager-jboss-mysql-mysql	Security groups cloudify-manager-jboss-mysql-mysql	Edit Rules More

Displaying 7 items

Figura 21 – Interface web de gestão de regras de segurança do *tenant*. Fonte: Própria

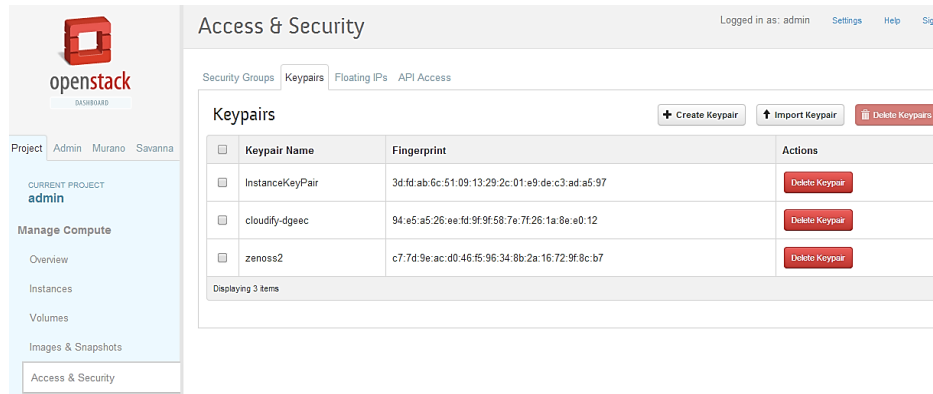


Figura 22 – Gestor de chaves de encriptação do *tenant*. Fonte: Própria.

VII. Monitorização e performance

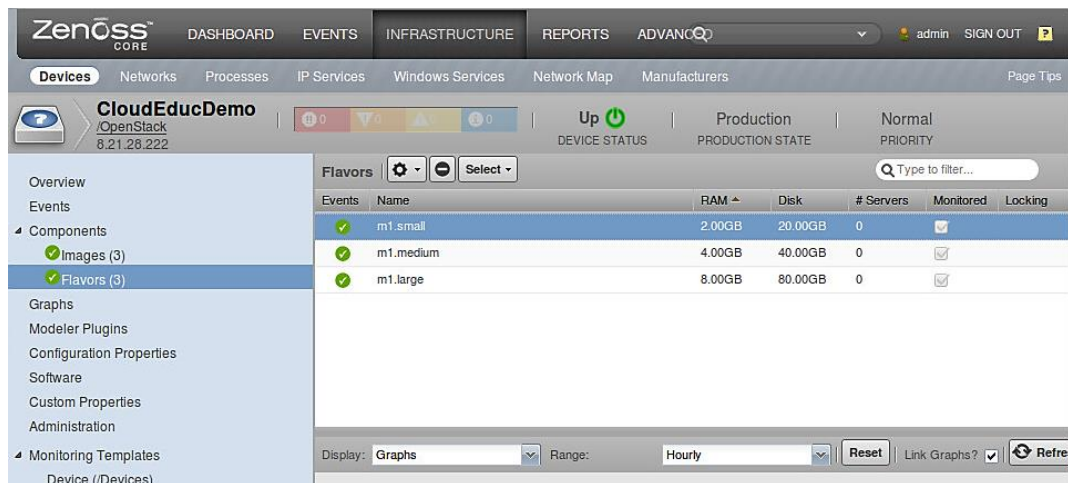


Figura 23 - Informação de *flavours* existentes num determinado *tenant*. Fonte: Própria.

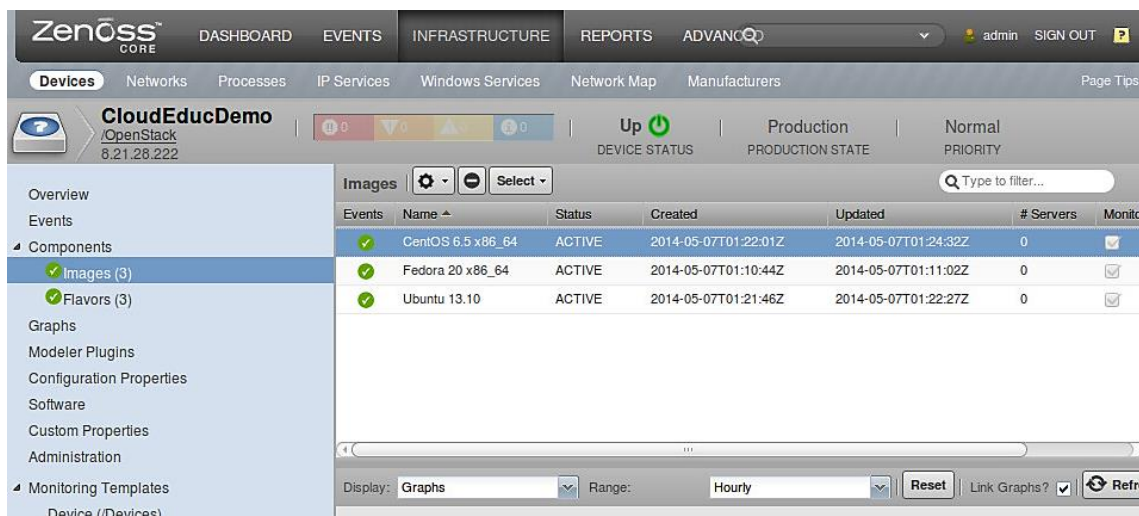


Figura 24 – Informação de imagens disponíveis num determinado *tenant*. Fonte: Própria.

VIII. Automação

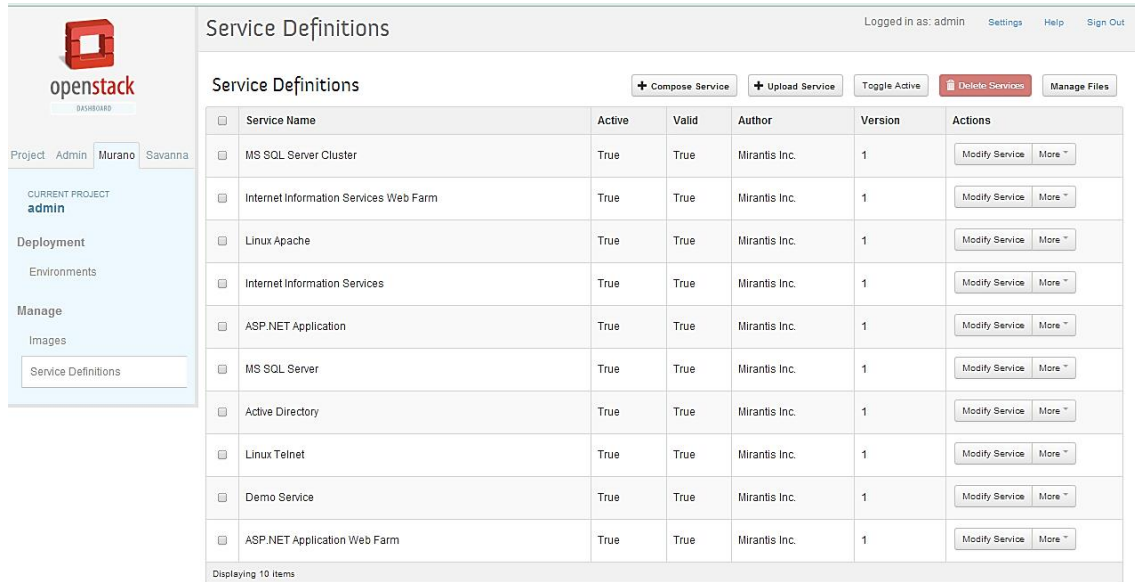


Figura 25 – Automação e desenvolvimento de serviços *Microsoft* e *Linux (as-a-service)*. Fonte: Própria

C. Anexos – Módulo PaaS

I. Arquitetura do software Cloudify

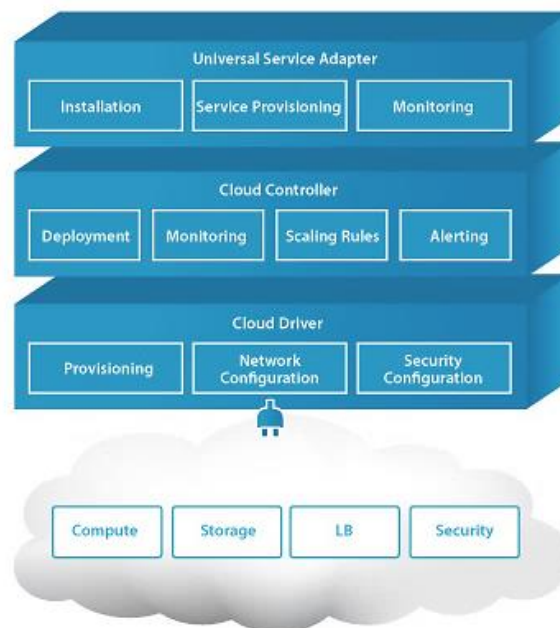


Figura 26 – Arquitetura *Cloudify*. Fonte: Gigaspaces (2014).

II. Etapas de instalação do Cloudfify

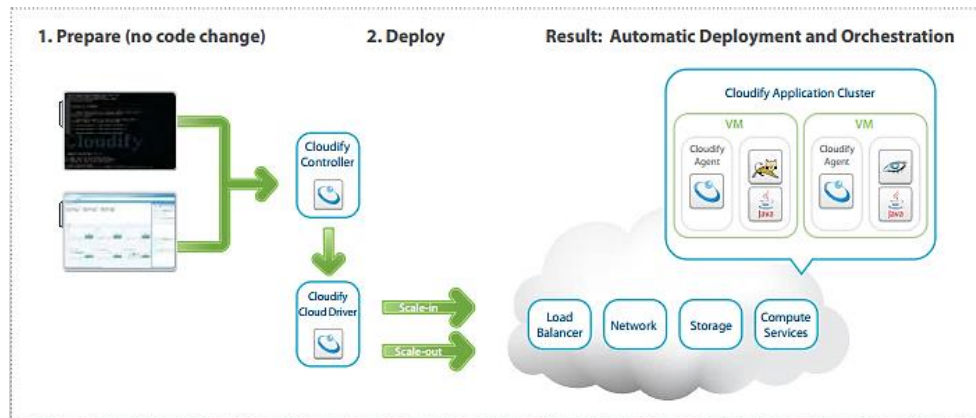


Figura 27 – Processo de duas etapas de instalação do *Cloudfify*. Fonte: Gigaspaces (2014b), p. 3.

III. Integração do Cloudfify em múltiplas nuvens (privada e pública)

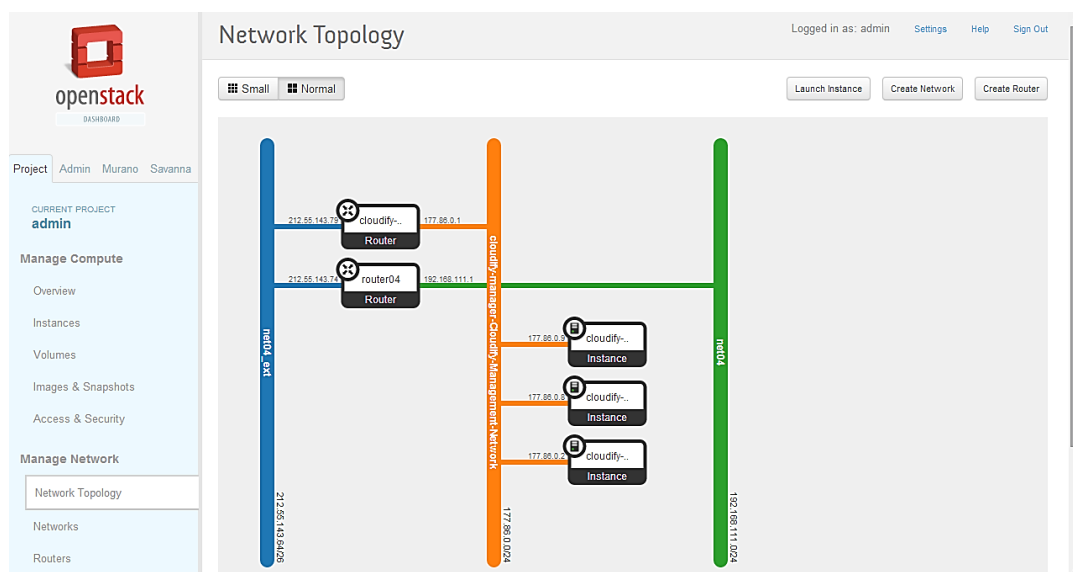


Figura 28 – Exemplificativo da tipologia de rede no *Openstack* e criada pelo *Cloudfify*. Fonte: Própria.

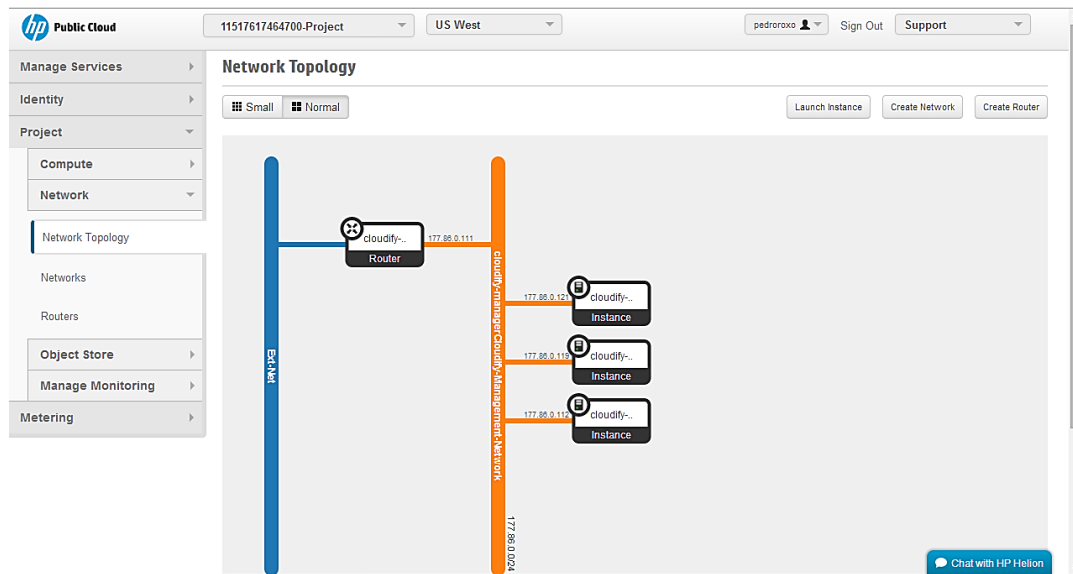


Figura 29 - Exemplificativo da tipologia de rede na nuvem pública *HP Public Cloud* e criada pelo *Cloudify*. Fonte: Própria.

IV. Monitorização e performance dos recursos físicos e virtuais (*Cloudify*)

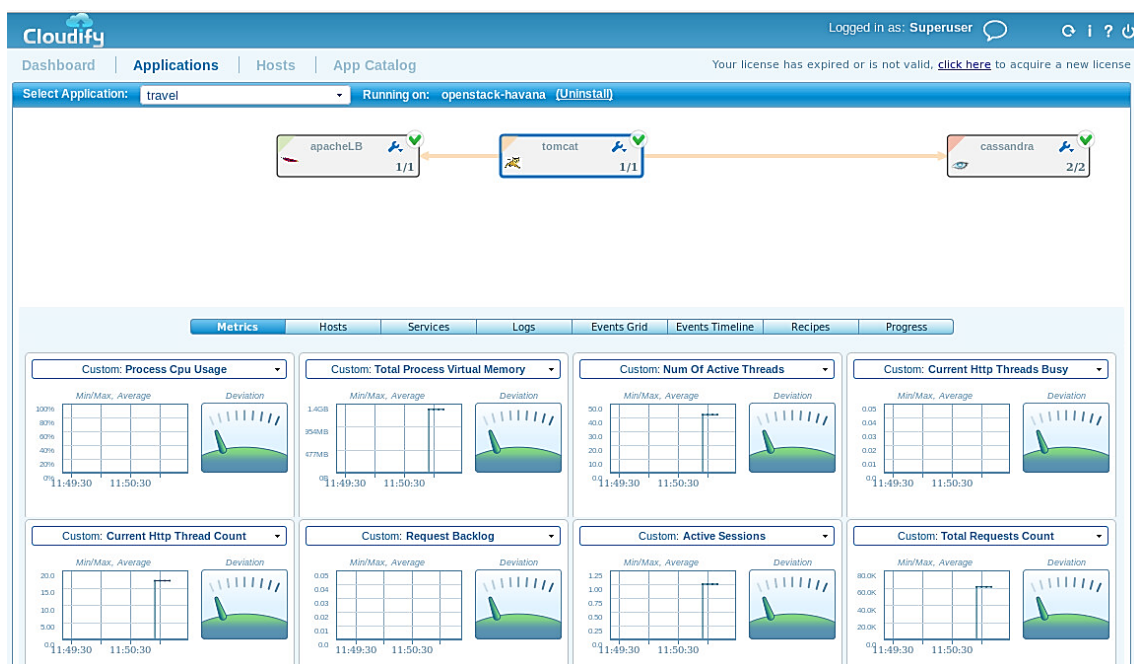


Figura 30 – Monitorização e performance de uma plataforma web com auto escalabilidade. Fonte: Própria.

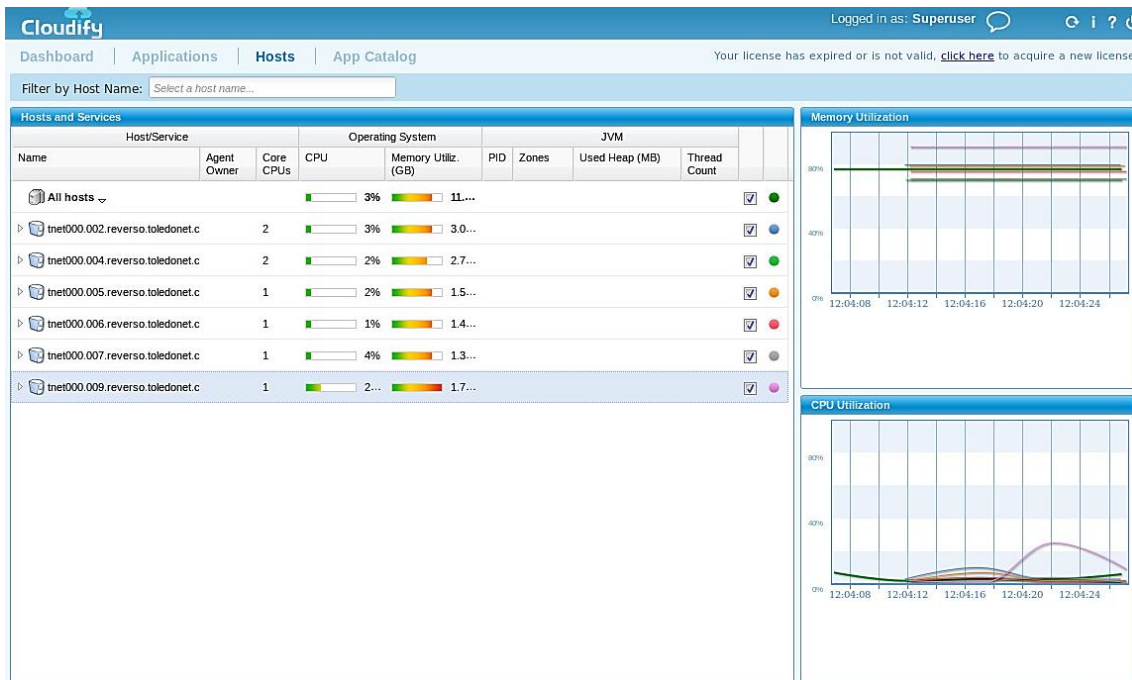


Figura 31 - Monitorização e performance dos servidores que alojam as plataformas. Fonte: Própria.

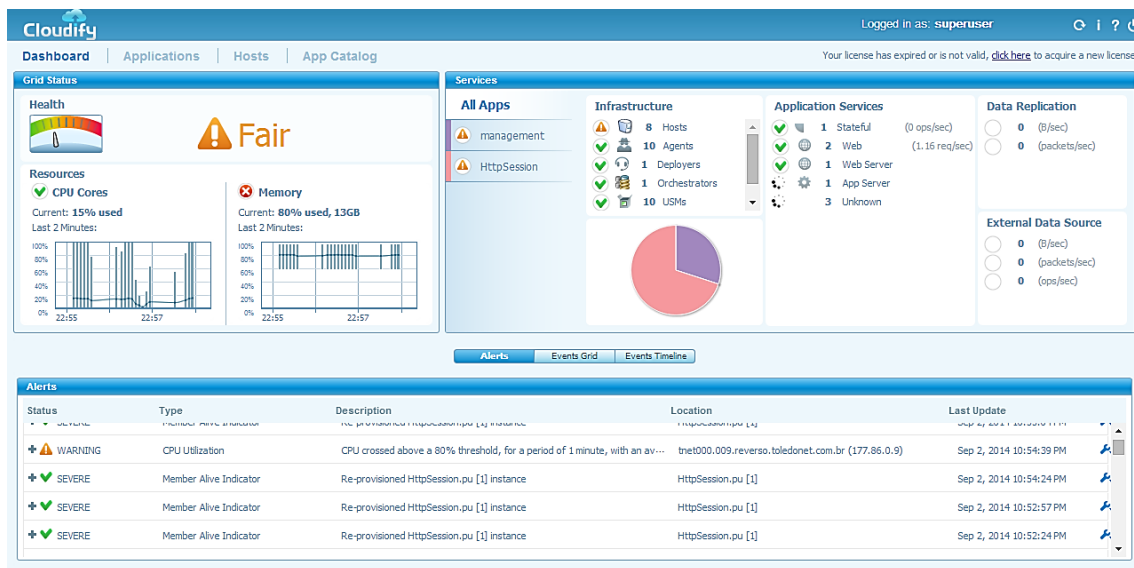


Figura 32 – Dashboard do Cloudify que demonstra eventos, alertas e performance. Fonte: Própria.

V. *Templates de múltiplas plataformas no Cloudify*

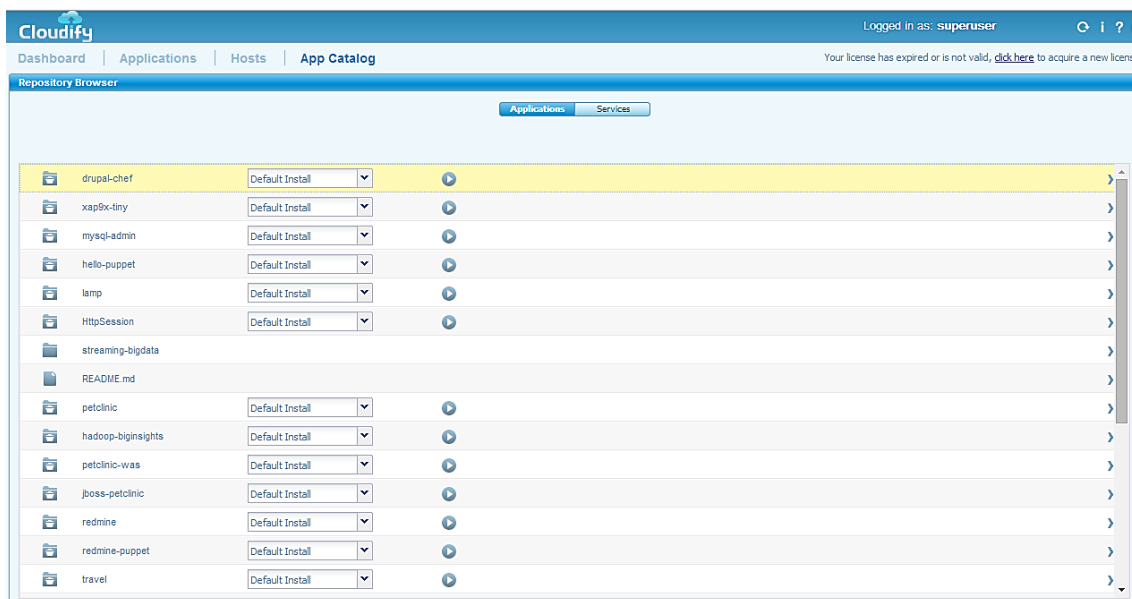


Figura 33 – *Templates* de plataformas disponíveis para instalação. Fonte: Própria.